



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA TĚLA KROKOVÉHO MOTORU

PRODUCTION OF THE CARTRIDGE FOR STEPPER MOTOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jiří Míka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Jiří Míka**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Ladislav Žák, Ph.D.**
Akademický rok: 2022/23

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Výroba těla krokového motoru

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce bude zaměřena na řešení změny materiálu dané součásti a návrh výroby technologií vstřikování termoplastických materiálů. Výstupem bude konstrukce formy a ekonomické vyhodnocení.

Cíle bakalářské práce:

- zhodnocení současného stavu výroby,
- literární studie dané problematiky,
- návrh výroby a potřebné výpočty,
- konstrukční řešení s podporou simulace,
- ekonomické vyhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

ŠTĚPEK, Jiří, Jiří ZELINGER a Antonín KUTA. Technologie zpracování a vlastnosti plastů. 1. Praha, Bratislava: SNTL, Alfa, 1989.

SOVA, Miloš a Josef KREBS. Termoplasty v praxi. 1. Praha: Verlag Dashöfer, 2001. ISBN 80-86229-15-7.

ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.

MENGES, Georg, Walter MICHAELI a Paul MOHREN. How to Make Injection Molds. 3. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 2001. ISBN 978-3-446-21256-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Práce se zabývá výrobou těla pro krokový motor z nově zvoleného materiálu polyamid PA66GF s obsahem 30 % skleněných vláken. Změna si žádá zvolení nové výrobní technologie, tou se stává vstřikování plastů. Z důvodu technologičnosti bylo potřeba provést úpravu modelu dílu dle zvolené výrobní metody. Po výpočtech důležitých technologických parametrů došlo ke konstrukci vstřikovací formy. Ta je zhotovena jako čtyřnásobná s horkým vtokovým systémem a studeným podrozvodem, zaformování je řešeno pomocí bočních šibrů. Pro formu byl zvolen hydraulický vstřikovací stroj Allrounder 420 C GOLDEN EDITION s uzavírací silou 1000 kN. Na závěr je provedeno technicko-ekonomické zhodnocení a porovnání nákladů na zhotovení jednoho dílu. K práci byla také vyhotovena potřebná výkresová dokumentace.

Klíčová slova

vstřikovací forma, plasty, změna materiálu, vstřikování plastů, konstrukce formy

ABSTRACT

The work deals with the production of the cartridge for stepper motor from the newly selected material polyamide PA66GF which contains 30% fiberglass. The change requires the choice of a new production technology, which is injection molding. For technological reasons, it was necessary to modify the 3D model of the part according to the chosen production method. After calculating the important technological parameters, the plastic injection mold was constructed. It is made as a quadruple with a hot runner system and a cold sub-distribution, the plastic injection mold also contains sliders for side actions. The Allrounder 420 C GOLDEN EDITION hydraulic injection molding machine with a clamping force of 1000 kN was chosen for the mold. At the end, a technical-economic evaluation and comparison of the costs for the production of one part is carried out. The necessary drawing documentation was also made for the work.

Keywords

plastic injection mold, plastics, change of material, injection molding, mold construction

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MÍKA, Jiří. *Výroba těla krokového motoru* [online]. Brno, 2023. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/149118>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Ladislav Žák.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Výroba těla krokového motoru vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

místo, datum

Jiří Míka

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji panu Ing. Martinu Břínkovi ze společnosti Resideo za jeho cenné připomínky a rady, které mi poskytl během konzultací nad tvorbou bakalářské práce, hlavně velké díky mu patří za jeho skvělý přístup a ochotu udělat si na mě čas. Velké díky také patří mé rodině za jejich velkou podporu při studiu. V neposlední řadě bych také rád poděkoval svému vedoucímu práce panu Ing. Ladislavu Žákovi, Ph.D. za jeho cenné připomínky při vypracovávání bakalářské práce.

OBSAH

Zadání práce

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	10
1.1 Varianty výroby.....	11
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ.....	14
2.1 Základní plastové materiály pro vstřikování	15
2.2 Aditiva do polymerů.....	16
2.3 Smrštění.....	17
2.4 Vstřikovací stroj	18
2.4.1 Vstřikovací jednotka.....	20
2.4.2 Uzavírací jednotka.....	21
2.5 Vstřikovací froma.....	22
2.5.1 Násobnost formy.....	23
2.6 Vtoková soustava	24
2.7 Temperační systém.....	26
2.8 Vyhazovací systém.....	27
2.9 Odvzdušnění	28
3 NÁVRH VÝROBY	29
3.1 Posouzení technologičnosti	30
3.2 Výpočet technologických parametrů.....	31
3.3 Konstrukční řešení formy	34
3.4 Volba vstřikovacího stroje.....	42
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	43
ZÁVĚR.....	45

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam příloh

Seznam výkresů

ÚVOD

Zpracování plastů a výroba plastových výrobků se v posledních desítkách let dočkala velkého celosvětového rozmachu v téměř každém průmyslovém odvětví. Prudké rozšíření převážně vděčí výborným vlastnostem plastů, mezi něž hlavně patří nízká hustota, snadná tvařitelnost a velká variabilita mechanických i fyzikálních vlastností. Díky tomu nachází plastové výrobky velké uplatnění nejenom ve strojírenství, kde postupně začínají nahrazovat kovové materiály. V dnešní době existuje velká řada výrobních technologií pro zpracování plastů. Lze například zmínit tvarování za tepla, válcování, odlévání, tažení nebo lisování. Mezi aktuálně nejpoužívanější zpracování patří bezesporu vstřikování. [1; 2; 3]

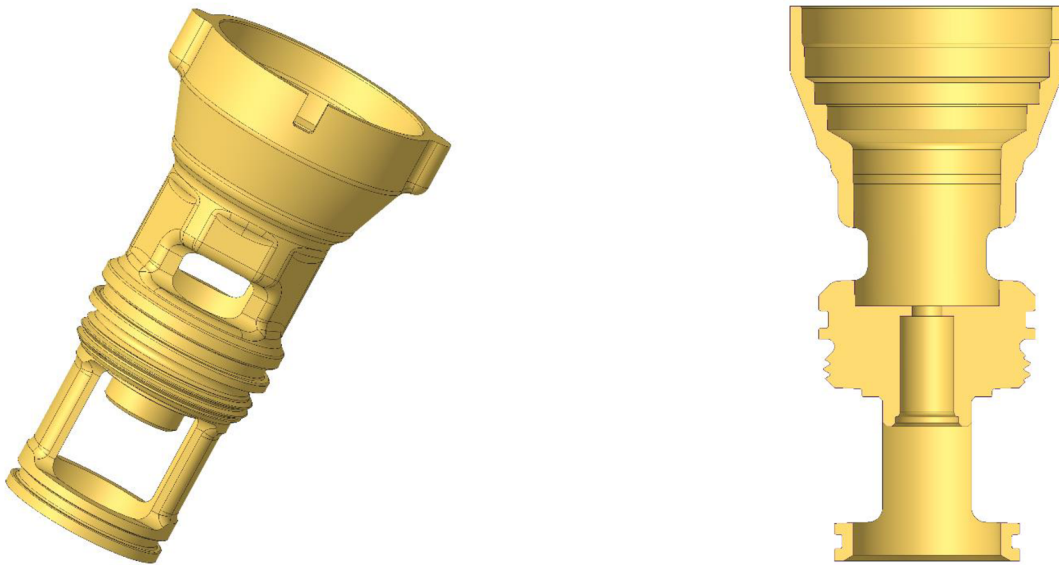
Vstřikování plastů se v dnešní době řadí k nejprogresivnější a nejrozšířenější technologii sloužící k výrobě plastových výrobků. Zhotovené díly se vyznačují skvělou rozměrovou i tvarovou přesností, konečný výrobek může sloužit jako polotovár pro kompletaci většího celku, nebo se může rovnou jednat o samostatný díl. Celý výrobní cyklus je většinou plně automatizován, díky vysoké produktivitě práce a krátkým výrobním časům nachází technologie vstřikování velké uplatnění převážně v sériové a velkosériové výrobě. Je možno vyrábět i součásti velmi složitých tvarů, aplikace se nacházejí například ve sportovním, stavebním, automobilovém, elektrotechnickém, leteckém, kosmickém i lékařském průmyslu. Podstatnou součástí vstřikovacího stroje je vstřikovací forma, jedná se o velmi složitý tvářecí nástroj, jež se skládá z několika částí a dílů. Velmi ovlivňuje kvalitu a složitost vyráběných součástí, její výroba je finančně velmi náročná. Příklady výrobků zhotovených technologií vstřikování lze vidět na obr. 1. [3; 4]



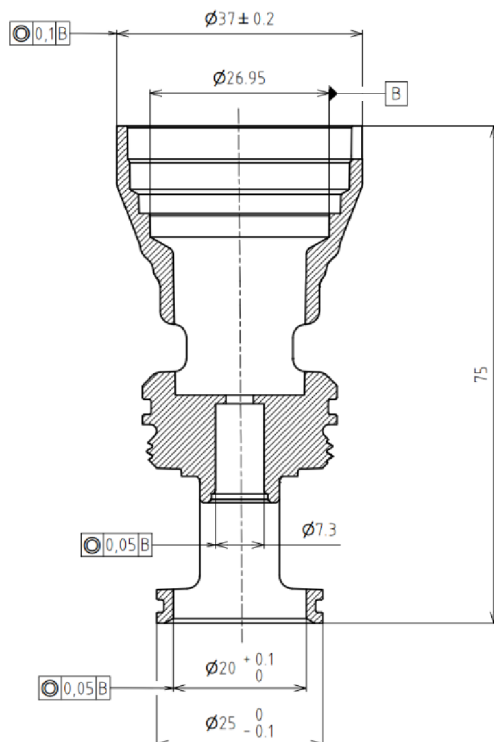
Obr. 1 Typické výrobky zhotovené metodou vstřikování [5].

1 ROZBOR ZADÁNÍ

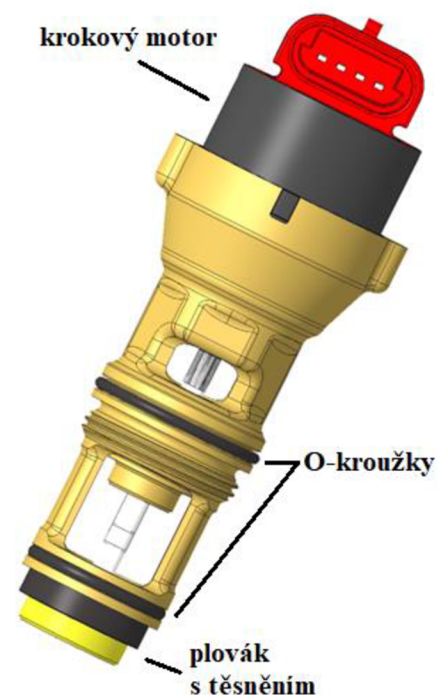
Práce se zabývá změnou materiálu u těla pro krokový motor (obr. 2), jehož celková délka L je 75 mm, největší průměr D 37 mm a tloušťka stěny s_1 se pohybuje v intervalu 1,55 až 12,6 mm. Jak je patrné, jedná se rotační těleso složitého tvaru, z jedné strany je dutina s několika osazeními, ty slouží pro ustavení a zalisování krokového motoru (obr. 4). Z druhé strany součásti je v menší dutině pomocí vložky zalisováno těsnění a mazná komora, jíž je prostrčen dřík krokového motoru. Na konci dříku je následně nalisován plovák s těsněním. Na povrchu součásti jsou zápichy pro uchycení dalšího těsnění a závit, díky němuž se součást našroubovává do protikusu. Pro správné dotažení součásti slouží výstupky v horní části těla, dotahovací moment M činí 10 Nm. Celá sestava tvoří ventil pro otopné systémy. Kompletní výkresová dokumentace součásti je uvedena na výkresu 2023-BP-229482-01.



Obr. 2 3D model součásti a její zobrazení v řezu.



Obr. 3 Geometrické tolerance součásti.



Obr. 4 3D model sestavy.

Na součásti jsou celkově předepsány 3 geometrické tolerance kruhovitosti, viz obr. 3., každá z nich slouží ke správné funkčnosti. První se nachází v horní části součásti na $\varnothing 37$ a zabezpečuje zalisování krokového motoru do těla. Druhá je umístěna uprostřed těla na $\varnothing 7,3$, díky ní je možno zajistit funkční zalisování kovové vložky pro uchycení mazné komory a těsnění uvnitř dutiny. Poslední kruhovitost je předepsána na $\varnothing 20$ ve spodku dílce, tím je zajištěno dokonalé lícování dosedajícího plováku s těsněním. Zbylé rozměry na výkresu jsou tolerovány dle ISO 2768-mK. Součást je momentálně vyráběna technologií zápustkového kování, velikost výrobní série N činní $100\,000\text{ ks} \cdot \text{rok}^{-1}$. Materiálem součásti je mosaz CW617N (tabulka 1, 2), ta se vyznačuje výbornou tvaritelností a obrobiteľností [6]. V provozu musí materiál odolávat vlivům vody nebo směsi vody a glykolu o teplotě 0–65°C, krátkodobě až teplotě 90°C.

Tab. 1 Chemické složení CW617N [7].

Prvek	Cu	Pb	Zn	Fe
Koncentrace	56,00	1,50	zbytek	$\leq 0,30$

Tab. 2 Mechanické vlastnosti CW617N [7].

Tvrdość [HB]	Mez pevnosti R_m [MPa]	Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	Tažnosti A_1 [%]
90	380	160	18

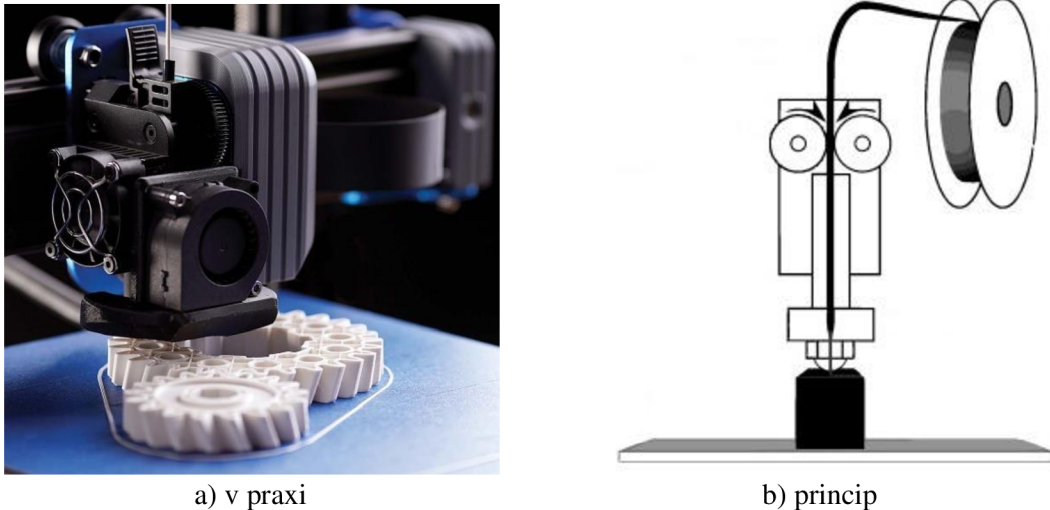
Zadání práce bylo vytvořeno ve spolupráci se společností Resideo (Ademco CZ s.r.o.), která se zabývá vývojem příslušenství pro domácnosti. Mezi hlavní výrobky patří termostaty, filtry, škrtící ventily pro kotle, příslušenství k vytápění nebo bezpečnostní systémy pro obytné domy po celém světě. Resideo na trhu existuje od roku 2018 a vzniklo odštěpením od mateřské firmy Honeywell.

Z důvodu úšetření na nákladech za materiál a zvýšení konkurenceschopnosti společnosti bylo rozhodnuto o změně dosavadního materiálu za plastovou variantu. Nově zvoleným materiálem je polyamid PA66GF s obsahem 30 % skleněných vláken. Vyznačuje se vysokou pevností, tuhostí a rozměrovou stabilitou, oproti jiným polyamidům lépe odolává opotřebení a má nižší nasákavost [8]. Změna materiálu přináší i hledání alternativních výrobních technologií, které je potřeba v závislosti na výrobních požadavcích součásti adekvátně posoudit.

1.1 Varianty výroby

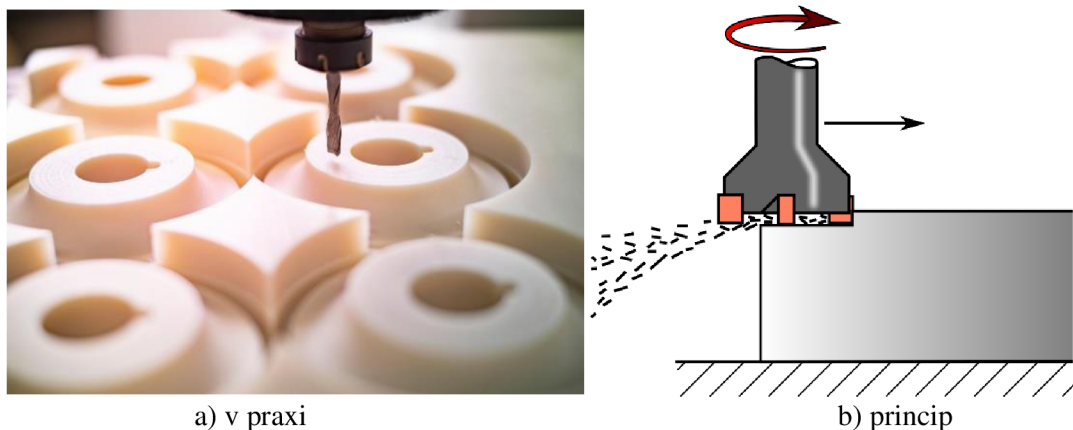
Zadaná součást lze zhotovit různými výrobními technologiemi, každá z nich má své přednosti a úskalí. Jako řešení bude zvolena neoptimálnější varianta, proto bude potřeba jednotlivé metody vhodně posoudit. Posouzení se bude odvíjet z charakteru vyráběné součásti, požadovaných vlastností a velikosti výrobní série. Zadanou součást lze teoreticky zhotovit následujícími způsoby:

- FDM rapid prototyping – je technologií, u které je přídavný materiál ve formě drátu navinutého na cívce taven a v jednotlivých vrstvách nanášen na hladkou tiskovou podložku (obr. 5). Tisková hlavička se posouvá směrem nahoru, tím jsou skládány jednotlivé vrstvy na sebe. Technologie je pro výrobu součásti nevhodná z důvodu nedodržení požadovaných geometrických tolerancí na součásti a dlouhých výrobních časů pro zhotovení jednoho kusu. [9]



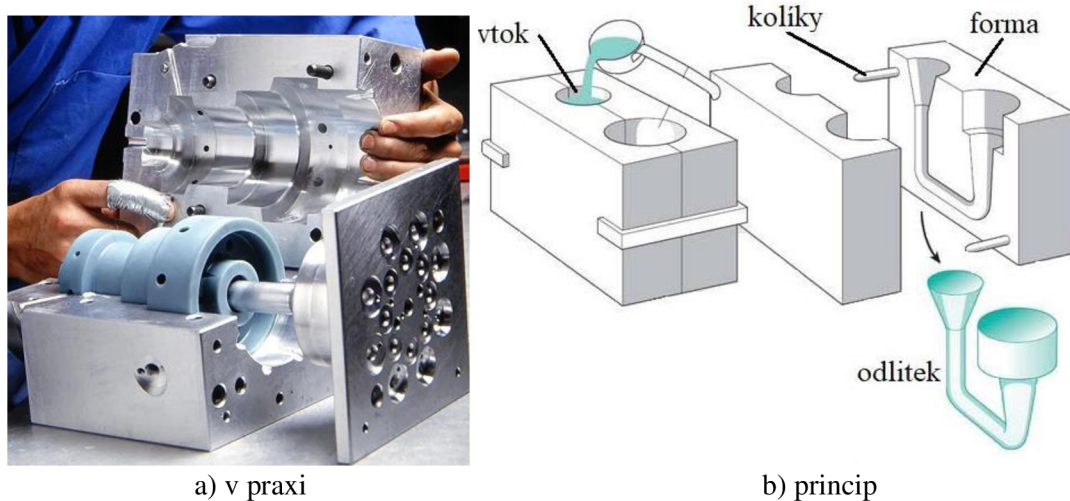
Obr. 5 FDM rapid prototyping [10; 11].

- Třískové obrábění – vyznačuje se tím, že nástroj je tlačěn řeznou silou do povrchu polotovaru. Vzájemným pohybem nástroje a polotovaru dochází k úběru materiálu ve formě třísek (obr. 6). Výhodou obrábění je oproti předchozí navrhované metodě dobrá kvalita povrchu vyrobeného dílce, dobrá rozměrová i geometrická přesnost a redukce dlouhých výrobních časů. Nevýhodou je velký objem odpadního materiálu, jež souvisí se složitostí tvaru zadané součásti. Jeho množství by oproti jiným technologiím činilo výrobu finančně neefektivní, proto nebude obrábění zvoleno. [12]



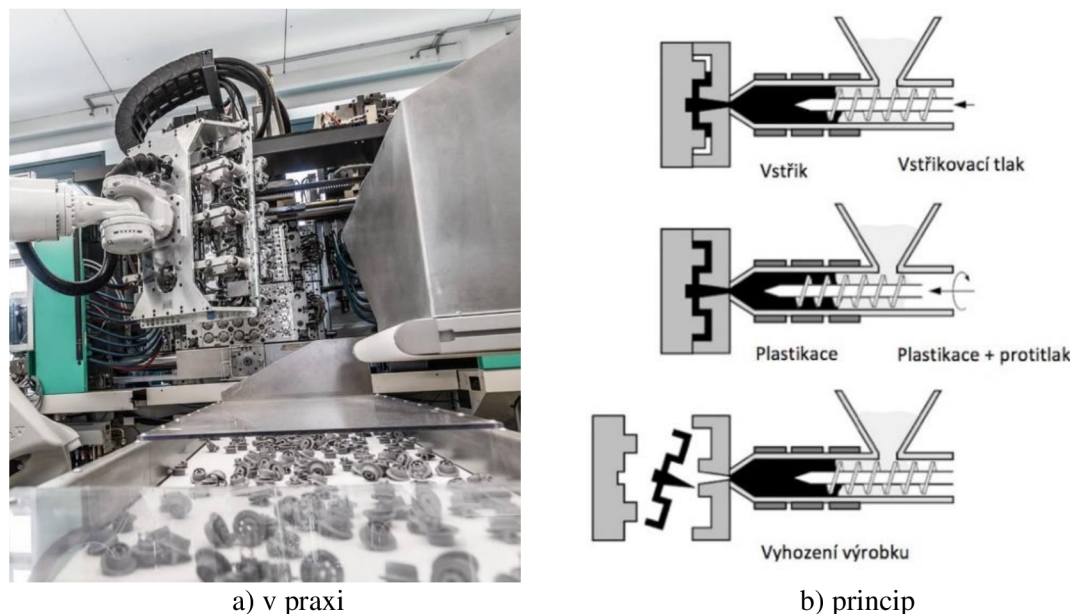
Obr. 6 Třískové obrábění [13; 14].

- Odlévání plastů – spočívá v tom, že zvolený polymer je zkapalněn a následně pomocí gravitační, rotační nebo odstředivé síly zaplňuje tvarovou dutinu formy (obr. 7). Odlévání je oproti obrábění lepší v počtu vyrobených kusů v jednom cyklu, odpadní materiál je také menší. Nevýhodou je ovšem ne zcela dobrá rozměrová i tvarová přesnost zhotovených součástí a omezený počet nabízených plastů vhodných pro odlévání, technologie proto nebude pro výrobu zvolena. [3; 15]



a) v praxi
b) princip
Obr. 7 Odlévání plastů [16; 17].

- Vstřikování plastů – vyznačuje se tím, že materiál ve formě granulí zplastifikuje ve stroji a pomocí šneku je vstříknut vysokou rychlostí do dutiny formy, kde následně ztuhne a vzniká hotový kus (obr. 8). Výhoda vstřikování je v produktivitě práce a krátkých výrobních časech. Zhotovují se přesné tvary i rozměry, lze využít aditiv pro úpravu mechanický i fyzikálních vlastností materiálu. Vzniká pouze minimální množství odpadního materiálu, u zhotovených kusů není potřeba provádět téměř žádné dokončovací operace. Vstřikování plastů proto představuje ideální možnost pro výrobu přesných dílů ve velkých sériích a krátkých časech. [4]

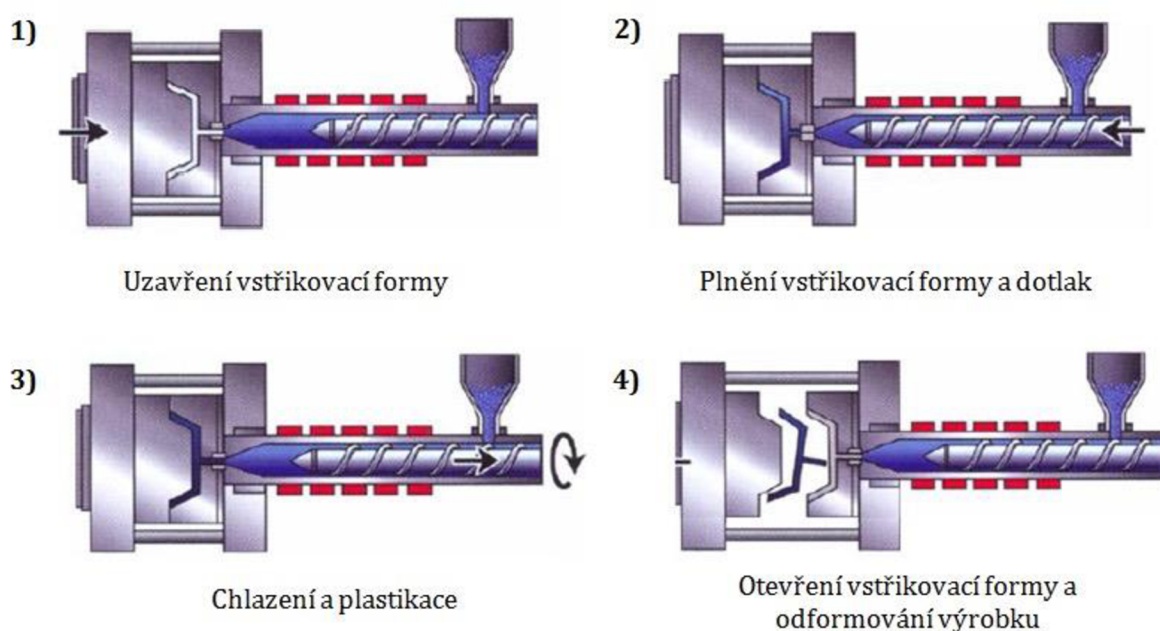


a) v praxi
b) princip
Obr. 8 Vstřikování plastů [15; 18].

Z výše uvedených variant pro výroby zadané součásti vyplývá, že nejvhodnějším kandidátem výrobní technologie je vstřikování plastů. Vyhovuje z hlediska tvarové a rozměrové přesnosti, zadané výrobní dávky, krátkého výrobního cyklu, možnosti použití zadaného materiálu a aditiv. Z těchto důvodů bude teoretická i praktická část práce zaměřena na zmíněnou výrobní technologii, tedy vstřikování plastů.

2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

Vstřikovací cyklus, viz obr. 9, je sled postupných operací, které se cyklicky opakují. Dají se rozdělit na čtyři základní fáze, těmi jsou uzavření formy a plastifikace, vstřikování a dotlak, chlazení, otevření formy a odformování výstřiku. Během plastifikační fáze je nachystaný vysušený materiál, nejčastěji ve formě granulátu, nasypán do násypky stroje. Pomocí rotujícího šnekového mechanismu je materiál odebrán z násypky, dochází k jeho stlačení a dopravě do tavicí komory. Vlivem tepla a tření dochází k plastifikaci, při dosažení požadované míry přestává šnek rotovat a začíná tlačit na taveninu před sebou. Dojde ke vstřiknutí materiálu do tvarové dutiny formy. Po jejím zaplnění dochází k následnému ochlazení taveniny a k dotlaku, jež slouží k redukci smrštění materiálu. Po finálním ztuhnutí výstřiku je forma otevřena a výstřik je pomocí vyhazovacích systémů odstraněn z formy. Celý cyklický sled operací se následně zopakuje. [3; 4; 21; 22]

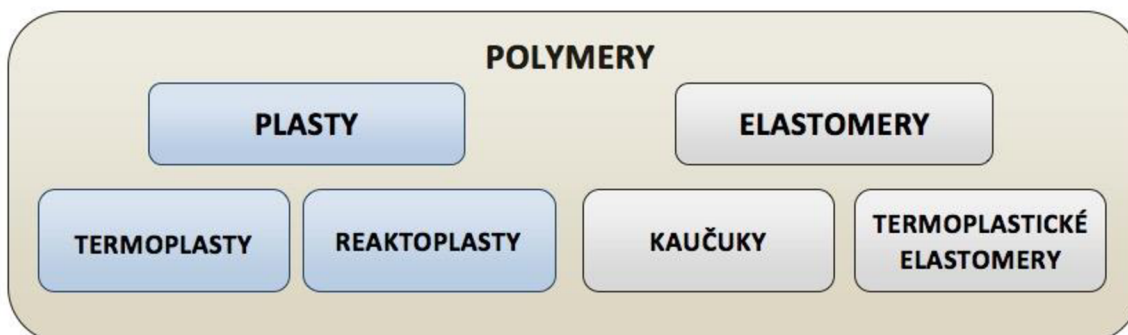


Obr. 9 Čtyři fáze vstřikovacího cyklu [23].

Na finální kvalitu a vlastnosti zhotoveného výstřiku má vliv celá řada faktorů, mezi ně patří druh vstřikovaného materiálu, technologické parametry, konstrukce formy i výstřiku a typ stroje. Je nutno uvažovat s tím, že jednotlivé faktory se navzájem velmi ovlivňují. Mezi technologické parametry, které nejvýrazněji působí na vstřikovací proces jsou vstřikovací rychlost a tlak, velikost dotlaku a doba jeho působení, teplota taveniny a formy, bod přepnutí ze vstřikovacího tlaku na dotlak. Z těchto parametrů lze sestavit tzv. procesní okno, sloužící k výrobě výstřiku s přesně stanovenou jakostí. Pokud nastavená vstřikovací teplota a tlak budou ležet v oblasti procesního okna, tak lze říci, že zhotovené díly budou dobré kvality. Jestliže ale zmíněné parametry budou nastaveny mimo procesní optimum, tak bude docházet ke vzniku propadlin, nedotečení, přetoků a spálení dílů. [4; 21; 22]

2.1 Základní plastové materiály pro vstřikování

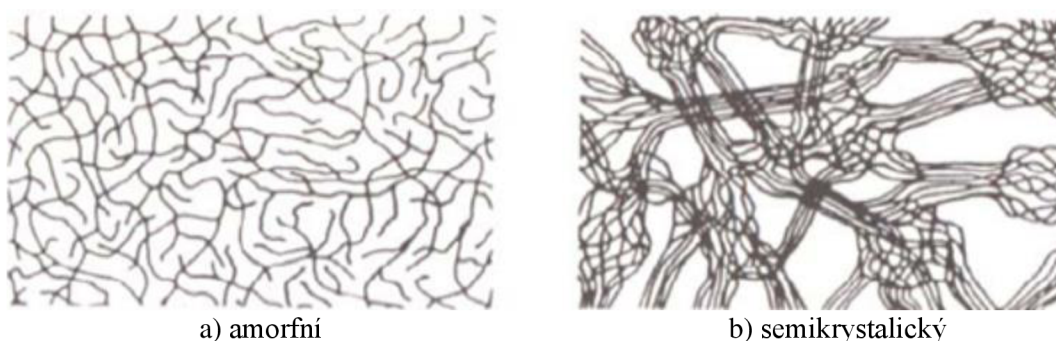
Polymery jsou makromolekulární látky tvořené jednotlivými monomery, které jsou k sobě vázány do opakujících se řetězců během procesu polymerace. Vyznačují se dobrou tvařitelností, jejich forma a tvar lze měnit teplem a tlakem. Jsou původu přírodního, nebo syntetického a lze je dělit na dvě hlavní skupiny, těmi jsou plasty a elastomery (obr. 10). [1; 4]



Obr. 10 Rozdělení polymerů [19].

Plasty jsou tvořeny z polymerů a přísad (aditiv) zlepšujících jejich fyzikální a mechanické vlastnosti (např. tvárnost, tvrdost, tepelná vodivost). Za vhodných podmínek je možné je vytvarovat do požadované podoby, po zafixování tvaru se chovají jako tuhé těleso. Plasty se vyznačují malou hustotou, chemickou odolností, dobrým tlumením rázů a vibrací, špatnou vodivostí tepelné a elektrické energie, hořlavostí, nasákavostí a stárnutím. Působením tepla dochází ke změnám jejich vlastností, lze je rozdělit na termoplasty a reaktoplasty [2; 3; 20]:

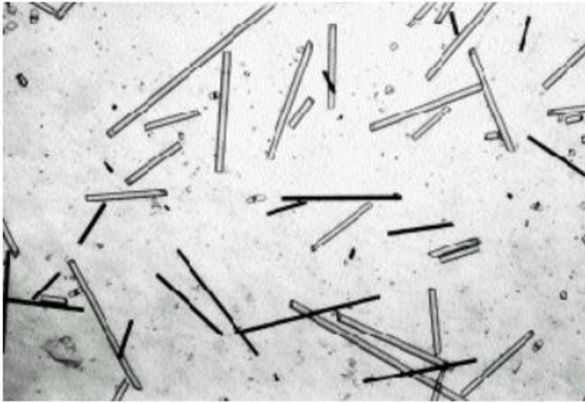
- Termoplasty – jsou polymerní materiály, které při zahřívání přecházejí do plastického stavu, v němž jsou dobře tvařitelné a zpracovatelné různými technologiemi. Po ochlazení se materiál opět vrací do tuhého stavu. Tento cyklus měknutí a tuhnutí je opakovatelný, při zahřívání nedochází ke změnám chemické struktury. Termoplasty lze dělit na amorfní a semikrystalické (obr. 11).



Obr. 11 Struktura termoplastů [21].

2.2 Aditiva do polymerů

V průmyslové praxi se polymery v čistém stavu téměř nepoužívají, většinou jsou do polymerní matrice přidávány různá aditiva za účelem dosažení specifických vlastností pro konkrétní průmyslové využití. Zvolená aditiva mohou například vylepšovat mechanické a fyzikální vlastnosti materiálu, teplotní roztažnost, zpracovatelnost nebo tepelnou vodivost. Pro dosažení určitých vlastností materiálu lze využít kombinaci aditiv, mezi ně například patří [3; 20; 19]:

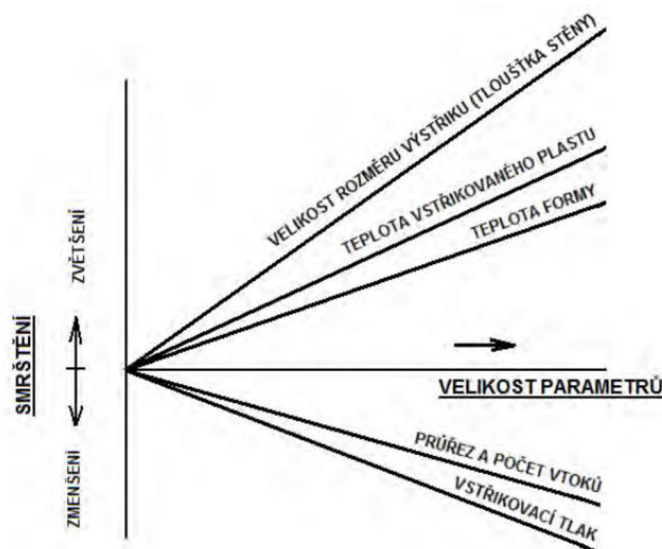


Obr. 12 Skleněná a uhlíková vlákna v matrici [24]. Obr. 13 Barviva přidávána do plastů [25].

- Plniva – jsou látky organického nebo anorganického původu, vyskytující se ve formě prášku, částic nebo vláken (obr. 12). Účelně mění vlastnosti daného polymeru k lepšímu, dle ovlivnění mechanických vlastností se plniva rozdělují na vyztužující a nevyztužující. Polymerní materiály s obsahem plniv jsou označovány jako tzv. kompozity, což jsou materiálové struktury o různém složení a vlastnostech. Dohromady tvoří jeden celek, jež má lepší mechanické vlastnosti než jednotlivé složky zvlášť. Mezi plniva patří dřevěná močka, uhlíková vlákna, skleněná vlákna, grafit, uhličitán vápenatý apod. [2; 19; 20]
- Barviva (obr. 13) – jsou přidávána do polymerů za účelem zhotovení požadovaných barevných odstínů u výrobků. Kromě vzhledu výstřiku ovlivňují i jeho smrštění, u stejného druhu materiálu mají rozdílné barvy odlišný vliv na změny rozměrů součástí. Dle původu je lze rozdělit na organické, anorganické a kovové. [2; 28]
- Stabilizátory – využívají se ke zpomalování degradačních procesů polymeru a zlepšení jeho odolnosti a životnosti. V některých případech mohou nepříznivě ovlivnit mechanické vlastnosti (snižují vrubovou houževnatost). Mohou se dělit na stabilizátory tepelné, světelné nebo se specifickým účinkem. [2; 3; 19]
- Maziva – obecně slouží ke zlepšení zpracovatelnosti polymerů, mohou mít vnější nebo vnitřní účinek. Vnější účinek se projevuje tím, že mazivo je špatně rozpustné v polymeru, kvůli čemuž vystupuje na jeho povrch, kde vytváří povrchovou vrstvu, usnadňující odformování výstřiku z formy. Naopak vnitřní účinek znamená to, že mazivo je dobře rozpustné, snižuje viskozitu taveniny a zlepšuje zpracovatelnost polymeru. Maziva také mohou vylepšovat i další vlastnosti, mezi které například patří vzhled povrchu a jeho lesk, tepelná a světelná stabilita nebo odolnost proti povětrnostním vlivům. [19; 28; 29]

2.3 Smrštění

Jedná se o fenomén projevující se o změnou objemu plastového výrobku po jeho ochlazení, hodnota se udává v procentech. Významný vliv na něj mají procesní parametry výroby, tvar zhotovovaného dílu, zvolený materiál nebo umístění vtokové soustavy a volba teploty. Při stanovování velikosti smrštění je potřeba zohledňovat spoustu faktorů, vlivy některých z nich jsou uvedeny na obr. 14. [1; 22, 26]



Obr. 14 Vlivy vybraných parametrů na velikost smrštění [26].

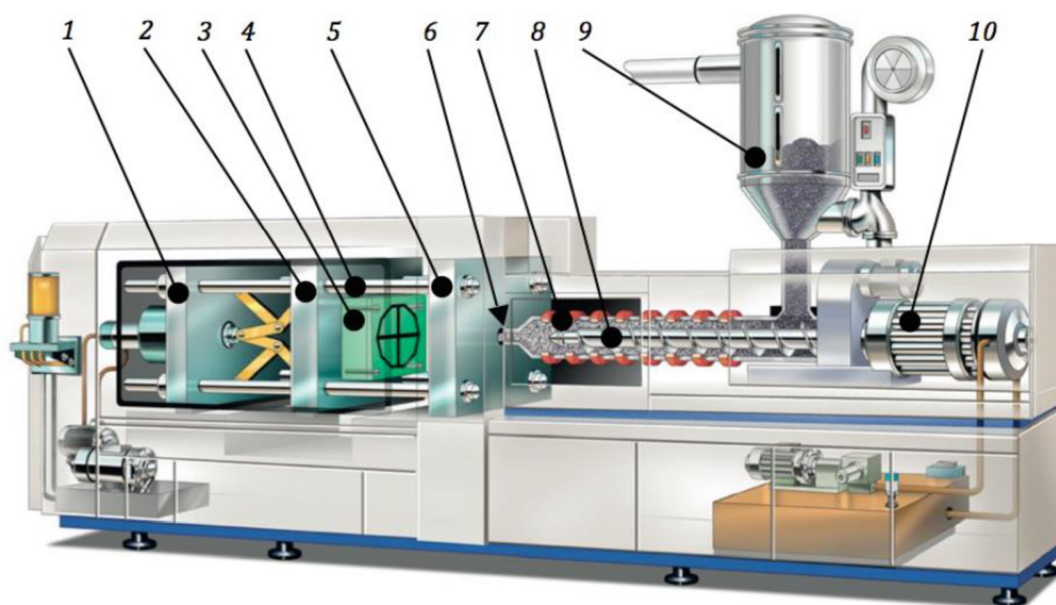
Smrštění lze rozdělit na dva typy, výrobní a dodatečné. Výrobní smrštění se standardně projevuje během 24 hodin od vyhození ztuhlého výstřiku z formy a tvoří až 90 % veškerého smrštění. Naměřené rozměry na výstřiku nejsou ale zcela finální, v materiálu dochází k dalším procesům (např. relaxace napětí). Vzniklé odchylky v rozměrech součásti se označují jako dodatečné smrštění, to se projevuje do 48 hodin od zhotovení výrobku. Vlivy smrštění se negativně propisují na zhotoveném výstřiku vznikem celé řady defektů, některé z nich jsou propadliny a dutiny, vznik vnitřního pnutí, nedodržení předepsaných rozměrů na součásti apod. Z toho důvodu je potřeba změnu objemu zapříčiněnou smrštěním kompenzovat pomocí tzv. polštáře, to znamená navýšení objemu vstřiku o (5–15) %, a dotlakem. Kompenzaci je možno provádět až do zatuhnutí vtokové soustavy. Procentuální velikosti výrobního smrštění u vybraných čistých termoplastů jsou uvedeny v tabulce 3. [1; 3; 22; 26; 28]

Tab. 3 Výrobní smrštění čistých termoplastů [27].

Druh plastu	VS [%]	Druh plastu	VS [%]
PS, SAN, ABS	0,4 – 0,6	PE-LD	1,5 – 3,0 (4,0)
SB	0,4 – 0,9	PE-HD	1,0 – 2,5 (4,0)
PMMA	0,2 – 0,7	PP	1,5 – 3,0
PC	0,6 – 0,75	POM	2,0 – 3,5
PA	1,0 – 2,0	-	-

2.4 Vstřikovací stroj

Je rozměrné zařízení, jež slouží k výrobě plastových výrobků (obr. 15). V dnešní době bývají vstřikovací stroje plně automatizovány, nejčastěji zpracovaným typem materiálů jsou termoplasty. Stroje se skládají ze vstřikovací jednotky, uzavírací jednotky včetně formy a jednotky řízení a regulace. Mohou existovat ve dvou variantách, horizontální a vertikální. Velikost samotného stroje se odvíjí dle velikosti vstřikovací jednotky a síly pro uzavření formy. Pohon je zajištěn pomocí elektromechanického nebo elektrohydraulického systému. Pro správnou funkci vstřikovacího stroje je nutné zajistit připojení ke zdroji elektrické energie, vody a stlačeného vzduchu. Náklady na pořízení stroje a formy představují pro podnik velkou kapitálovou investici, proto se z důvodu finanční návratnosti využívají především k velkosériové výrobě. [3; 21; 23; 29].

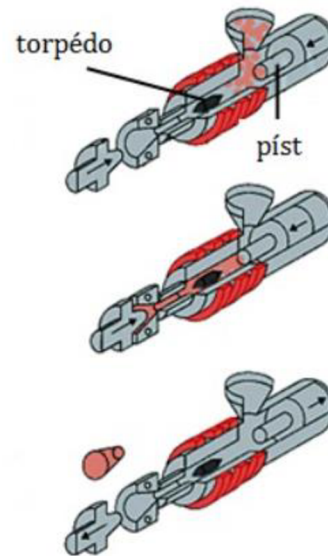


1 – uzavírací jednotka, 2 – pohyblivá upínací deska vstřikolisu, 3 – pohyblivá část vstřikovací formy, 4 – vodící sloupky vstřikolisu, 5 – pevná upínací deska vstřikolisu, 6 – čelo špičky vstřikovací trysky vstřikolisu, 7 – tavicí komora, 8 – šnek, 9 – násypka pro plastový polotovár, 10 – pohonná jednotka šneku

Obr. 15 Schéma šnekového vstřikovacího stroje [30].

Dle konstrukce tavicí komory a pohybu materiálu v ní lze vstřikovací stroje rozdělit na dva druhy [4; 21; 23]:

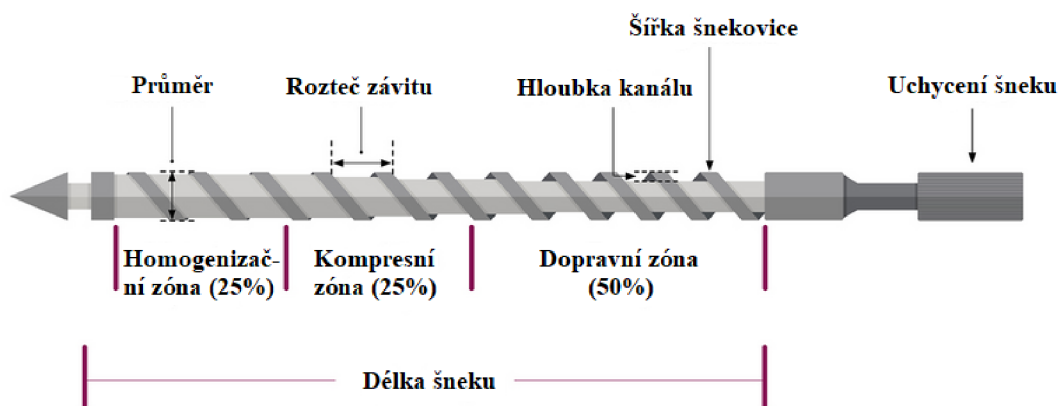
Pístové vstřikovací stroje – pocházejí z první poloviny 20. století (obr. 16), v dnešní době je konstrukce již zastaralá a téměř se nepoužívá, z trhu byla vytlačena vstřikovacími stroji se šnekovým mechanismem. Princip tohoto řešení je takový, že plast ve formě granulí je nasypan do násypky stroje, ve vstřikovací jednotce je materiál nahromaděn před čelem pístu, který svým dopředným pohybem stlačuje a dopravuje nahromaděný materiál do tavicí komory. Zde dochází k natavování plastu a jeho přeměně na taveninu, jež je posléze vstříknuta pístem do dutiny formy. Před ústím vstřikovací jednotky se nachází torpédo (obr. 17), přes které je materiál nucen obtékat. Díky tomu je zajištěno alespoň minimální promísení a homogenizace taveniny.



Obr. 16 Pistový lis CSB 70.14 [31].

Obr. 17 Schéma pístového mechanismu [23].

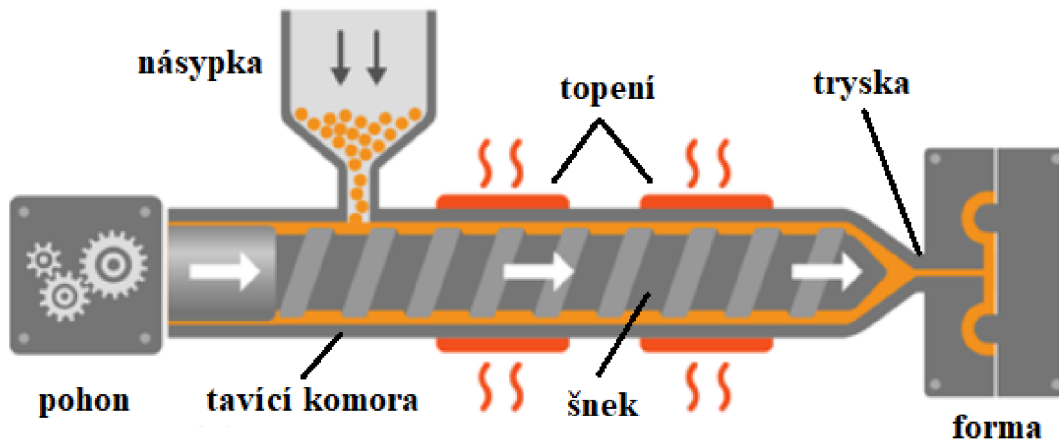
- Šnekové vstřikovací stoje – jsou v dnešní době nejčastěji využívaným typem strojů, pohyb plastu v komoře je zajišťován pomocí šneku (obr. 18). Plastifikace ve vstřikovací jednotce probíhá tak, že z hrdla násypky je přisypáván granulový materiál, který je otáčením a stlačováním šneku dopravován do vytápěných částí tavicí komory. Zde dochází k přeměně granulátu na taveninu, jež se shromažďuje před čelem šneku. Během otáčení se šnek posouvá směrem dozadu, po dokončení plastifikace se přestává otáčet a začíná se pohybovat směrem dopředu jako píst. Tímto pohybem je tavenina vstříknuta do dutiny formy. Oproti pístovým vstřikovacím strojům umožňuje šnekový mechanismus přesné dávkování granulátu, lepší promísení taveniny a její rychlejší ohřátí na požadovanou teplotu. Pro zpracování různých typů materiálů se v technické praxi využívají rozdílné velikosti a geometrie šneků.



Obr. 18 Šnekový mechanismus [32].

2.4.1 Vstřikovací jednotka

Plní hned několik funkcí při vstřikovacím procesu. Zprvu se stará o přesné dávkování plastového granulátu, jeho přeměnu na taveninu a její následnou homogenizaci. Následně takto zpracovaný materiál vstřikuje za vysoké rychlosti a velkého tlaku přímo do tvarové dutiny formy, kde posléze musí zajistit vhodný dotlak. V současnosti jsou nejběžnějším typem vstřikovací jednotky osazené šnekem, jež se vyznačuje rotací kolem své osy a axiálním posuvem vpřed a vzad, pohyb šneku je zajištěn hydraulickým systémem. Vstřikovací jednotky se vyrábějí ve dvou variantách, vertikální a horizontální. Vertikální umístění je vhodné pro menší vstřikovací stroje, naopak horizontální je pro větší stroje. [4; 21; 23; 29]



Obr. 19 Vstřikovací jednotka [33].

Vstřikovací jednotka je složena z několika segmentů (obr. 19), jako vstupní část slouží násypka, jež je propojena s tavící komorou a topnými pásy. Uvnitř je umístěný šnek, který svou rotací přesune granulát z násypky do tavící komory. Materiál se zahřívá pomocí topných pásů a vzájemného tření granulátu, po vyvození dostatečného tepla dochází k přeměně pevného materiálu na taveninu. Tavící komora je ukončena tryskou, která dosedá na ústí vtokové soustavy formy a slouží ke vstřiku taveniny do ní. Konstrukce vstřikovací jednotky a tavící komory se odvíjí od použitého typu granulátu, určující parametry pro správnou volbu výkonnosti jsou následující [21; 23]:

- Vstřikovací kapacita – je parametr udávající hodnotu maximálního objemu taveniny, jež je možno vstříknout z tavící komory do tvarové dutiny formy za jeden zdvih šneku. Díky tomu je možné zjistit maximální objem zhotoveného výstřiku, do hodnoty se zahrnuje i objem vtokové soustavy. Vstřikovací kapacita se standardně udává v cm^3 .
- Plastifikační kapacita – u vstřikovacího stroje charakterizuje maximální množství materiálu, které po plastifikaci, ohřátí a homogenizování teploty je možno použít pro plnění formy. Veličina je pouze orientační, slouží k přibližnému stanovení doby plastifikace materiálu, jednotkou je $\text{kg} \cdot \text{hod}^{-1}$.

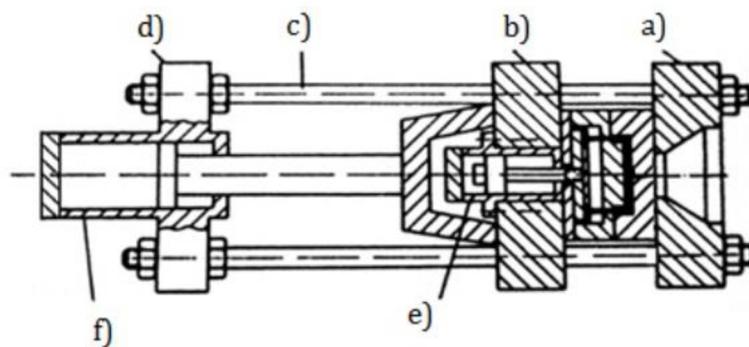
2.4.2 Uzavírací jednotka

Je jednou z mnoha částí vstřikovacího stroje, upíná se do ní vstřikovací forma. Zajišťuje správné otevírání a uzavírání formy, stará se také o vyvození adekvátní uzamykací síly, která během procesu vstřikování a dotlaku bude držet formu vždy uzavřenou. Při nesprávné volbě síly může tlakem taveniny dojít k nechtěnému pootevření formy a vzniku přetoků v dělicí rovině. Uzavírací jednotka také obsahuje systém vyhazovačů, jež se stará o správné vyhazování zhotovených výstřiků. [4; 23]

Mezi základní prvky uzavírací jednotky patří pevná a pohyblivá deska, disponující upínacím systémem pro vstřikovací formu, polohování a vedení desek je řešeno prostřednictvím vodících sloupků. Potřebná síla pro uzamknutí formy se vyvozuje mechanicky, hydraulicky nebo kombinací zmíněných systémů. Pohon pohyblivých desek je řešen variantou elektrickou nebo hydraulickou [4; 23]:



Obr. 20 Kloubový uzavírací systém [34].



(a) pevná část formy, (b) pohyblivá část formy, (c) vodící tyče, (d) rám stroje, (e) hydraulický vyhazovač, (f) hydraulický válec pro ovládní pohyblivé části formy

Obr. 21 Schéma hydraulického uzavíracího systému [23].

- Kloubový uzavírací systém (obr. 20) – patří mezi nejlepší mechanické systémy, nejčastěji se využívá pro středně velké vstřikovací stroje. Vyznačuje se dobře regulovaným a rychlým otevíráním a uzavíráním formy, odolává proti pootevření formy. Jeho nevýhodou je rychlé opotřebení a náročnější seřizování formy. Má jednoduchou konstrukci, nejčastěji bývá ovládán hydraulicky.
- Hydraulický uzavírací systém – patří mezi nejjednodušší, vyvození pohybu desek a uzavírací síly je pomocí tlaku hydraulické kapaliny (obr. 21). Nevýhodou je malá přísouvací rychlost a nebezpečí pootevření formy během tlakových rázů. Vyznačují se nízkou pořizovací cenou, v dnešní době se již moc nevyužívají.
- Kombinovaný uzavírací systém – využívá výhod předchozích systémů. Vyznačuje se rychlými posuvy upínacích desek a velkou uzavírací silou. Posuvy jsou řízeny kloubovým mechanismem, uzamykací síly zase hydraulickým systémem.

2.5 Vstřikovací forma

Jedná se o nástroj s komplexní funkcí, upíná se do vstřikovacího stroje. Standardně se skládá z rámu, tvarových dílů a zbytku příslušenství. Tavenině dopravené do dutiny formy dává výsledný tvar, po efektivním ochlazení dojde k vyjmutí zhotoveného výstřiku (obr. 22). Tvarová dutina je přesným negativem požadované součásti, rozdíl je však v jednotlivých tvarových rozměrech, které jsou zvětšeny o hodnotu smrštění dle použitého plastu. Forma musí splňovat mnoho důležitých požadavků, to znamená odolávat vysokým tlakům, zajišťovat správný tvar a rozměry výstřiku, mít jednoduché odformování vyráběných dílů a schopnost pracovat v automatickém režimu. Z důvodu dlouhé životnosti a splnění výše zmíněných požadavků se vstřikovací formy vyrábějí z nástrojové oceli a jsou kaleny na hodnotu 50 ± 2 HRC. To se projevuje na finální ceně a časové náročnosti výroby. [4; 26; 28; 30]



Obr. 22 Zobrazení vstřikovací formy a zhotoveného výstřiku [35].

Důležitým parametrem u vstřikovacích forem je dělicí rovina, která je umístěna na kontaktní ploše mezi pevnou a pohyblivou částí formy. Po vzájemném dosednutí desek dochází k utěsnění tvarové dutiny formy. Vzniklá uzavírací síla zabraňuje úniku vstříknuté taveniny do okolí a tvorbě nevzhledného lemu na obvodu výstřiku. U dílů tvořících kontaktní plochu musí být zajištěna adekvátní mechanická odolnost a dostatečná rozměrová a tvarová přesnost. V opačném případě může docházet k opotřebovávání a poškozování dělicí roviny, což má za následek netěsnost formy. Dělicí rovina může mít rovinný nebo obecný tvar, z konstrukčního hlediska se volí v místě největšího rozměru výrobku, převážně na nepohledové části dílu. Čím jednodušší je tvar dělicí roviny, tím lepší je utěsnění formy a výrobní přesnosti dílce. Dle dělicí roviny je odvozena celá konstrukce formy, ovlivňuje polohu vtokové soustavy, vyhazovače, temperaci, odvzdušnění, atd. [26; 30]

2.5.1 Násobnost formy

Tímto termínem se označuje počet tvarových dutin formy, neboli počet výstřiků zhotovených v jednom vstřikovacím cyklu. Z důvodu velké pořizovací ceny formy a její nutné finanční návratnosti je zapotřebí adekvátně zvolit její násobnost, pro velkosériovou výrobu tvarově jednoduchých součástí se optimálně volí vícenásobná forma, naopak u geometricky složitých a rozměrných výstřiků je vhodné zvolit jednonásobnou formu. Optimální násobnost formy lze posoudit následujícími možnostmi [3; 4; 26]:

- Podle vstřikovací kapacity stroje:

$$n_1 = \frac{0,8 \cdot Q_v}{(V + V_k)}, \quad (2.1)$$

kde: Q_v – vstřikovací kapacita stroje [cm^3],
 V – objem vstřikované součásti [cm^3],
 V_k – objem rozváděcího kanálku [cm^3].

- Podle plastifikačního výkonu stroje:

$$n_2 = \frac{Q_p \cdot t_c \cdot 1000}{(V + V_k) \cdot 3600 \cdot \rho}, \quad (2.2)$$

kde: Q_p – plastifikační výkon stroje [$\text{kg} \cdot \text{hod}^{-1}$],
 t_c – doba vstřikovacího cyklu [s],
 ρ – hustota vstřikovaného materiálu [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$].

- Podle uzavírací síly stroje:

$$n_3 = \frac{800 \cdot F_u}{p_i \cdot S}, \quad (2.3)$$

kde: F_u – uzavírací síla [kN],
 p_i – tlak v dutině formy [MPa],
 S – plocha průřezu jednoho výstřiku [mm^2].

- Podle požadovaného termínu dodání produkce:

$$n_4 = \frac{N \cdot t_c}{t_p \cdot k \cdot 3600}, \quad (2.4)$$

kde: N – velikost výrobní série [ks],
 t_p – doba produkce [hod],
 k – koeficient využití času (0,7 – 0,9) [-].

- Podle ekonomického hlediska:

$$n_5 = \sqrt{\frac{t_c \cdot K_p \cdot N_z}{3600 \cdot K_f}}, \quad (2.5)$$

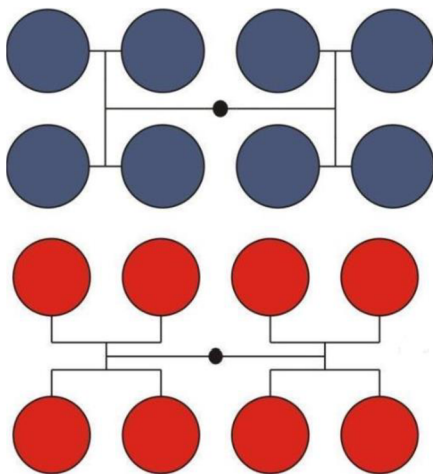
kde: K_p – provozní náklady formy [Kč],
 K_f – míra amortizace [%],
 N_z – předpokládaná životnost formy (v počtech cyklů) [-].

2.6 Vtoková soustava

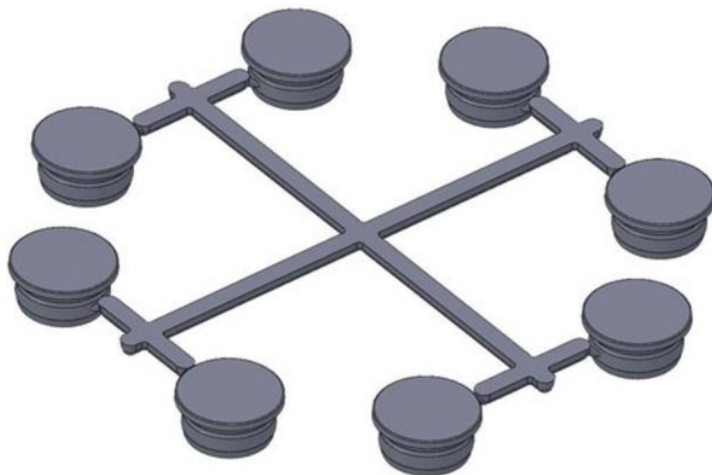
Pro výrobu kvalitních výstřiků je nutné zajistit adekvátní zásobování dutiny formy taveninou, proudící od vstřikovacího stroje. Tímto úkolem se zabývá vtoková soustava. Je tvořena systémem rozváděcích kanálků, vtokových vložek a ústí vtoku. Vtok se nejčastěji umísťuje do nejtlustšího místa dílu na pevné polovině vstřikovací formy, která je propojena se vstřikovací jednotkou. Jeho umístění má velký vliv na tok materiálu v dutině formy a vznik případných vad, proto je potřeba volbu správně zvážit. Návrh vtoku by měl také brát v úvahu co nejdelší působení dotlaku, ten slouží pro kompenzování objemového smrštění materiálu. [3; 4; 26; 36]

Uspořádání vtokové soustavy se navrhuje dle konstrukce formy a její násobnosti. Navrhnuté řešení by správně mělo být takové, aby při minimálních odporech a co nejkratších výrobních časech došlo při vstřikování k rovnoměrnému naplnění celého systému formy. Pro zajištění shodných technologických podmínek při plnění vícenásobných forem je proto důležité, aby k vyplnění všech tvarových dutin došlo v jeden okamžik, z toho důvodu musí být délka rozváděcích kanálků všude stejná. Vhodný návrh vtokové soustavy a předpokládané plnění formy lze ověřit pomocí softwarových simulací. [4; 26]

Tvarové dutiny u vícenásobných forem lze rozmístit dle dvou nejběžnějších uspořádání, v řadě a do hvězdy. Hvězdicové uspořádání, viz obr. 24, se vyznačuje stejně dlouhým tokem ve všech směrech, díky čemuž dochází k rovnoměrnému zaplňování tvarových dutin formy ve stejném čase a při stejném tlaku. Řadového uspořádání (obr. 23) má na rozdíl od předchozí varianty rozdílnou délku rozváděcích kanálků, vzdálenější dutiny jsou proto plněny později. Z důvodu předejití předčasného tuhnutí taveniny a ucpávání vtokového systému je třeba opatřit vzdálenější dutiny větším ústím vtoku, tzv. provést korekci ústí. V technické praxi jsou využívány dva druhy vtokových soustav, těmi jsou studené a horké [26; 28; 45]:

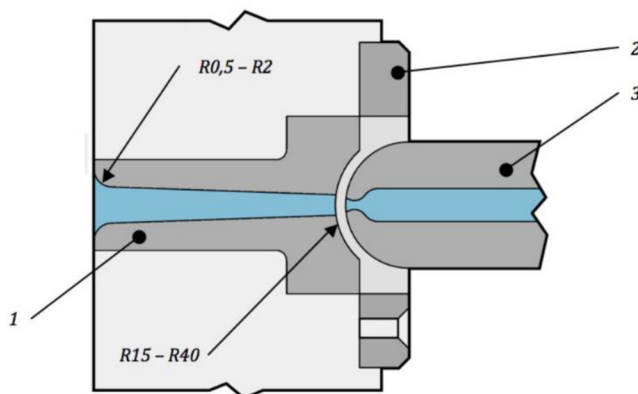


Obr. 23 Řadové uspořádání [37].



Obr. 24 Hvězdicové uspořádání [38].

- Studená vtoková soustava – je typická tím, že tavenina po vstříknutí začíná okamžitě chladnout a přichytávat se na vnější stěny rozváděcích kanálů. Vytvoří se pevná krusta, sloužící jako tepelná izolace. Zbytek taveniny proudí vnitřkem průřezu, díky čemuž dochází k zaplnění dutiny formy. Na konci výrobního cyklu je zatuhlá celá vtoková soustava, při otevření formy je společně s výstřikem vyhozen i vtokový zbytek. Obvykle se soustavy skládají z vtokové vložky, rozváděcích kanálů a ústí vtoku. Vtoková vložka slouží pro dopravu taveniny do dělicí roviny formy, v případě použití vícenásobných forem je tavenina následně rozvedena pomocí vtokových kanálů. Hlava vložky bývá zaoblena, rádius pomáhá lepšímu dosednutí a utěsnění čela trysky vstříkovacího stroje. Otvor uvnitř vložky je konstruován pod úkosem, který slouží pro snadnější vyjmutí z formy (obr. 25). Studené vtokové soustavy se vyznačují jednoduchým čištěním, robustností a odolností proti poškození. Nevýhodou je vyšší spotřeba materiálu z důvodu vtokového zbytku, vznik nevzhledných míst po odstranění vtokové soustavy a zvýšené nebezpečí studených spojů. Převážně se využívají pro malosériovou výrobu a tvarově jednoduché výstřiky. [4; 26; 28; 30]



1 – vtoková vložka, 2 – středící kroužek,
3 – čelo trysky vstříkovacího stroje

Obr. 25 Studená vtoková soustava [30].



Obr. 26 Horká vtoková soustava [39].

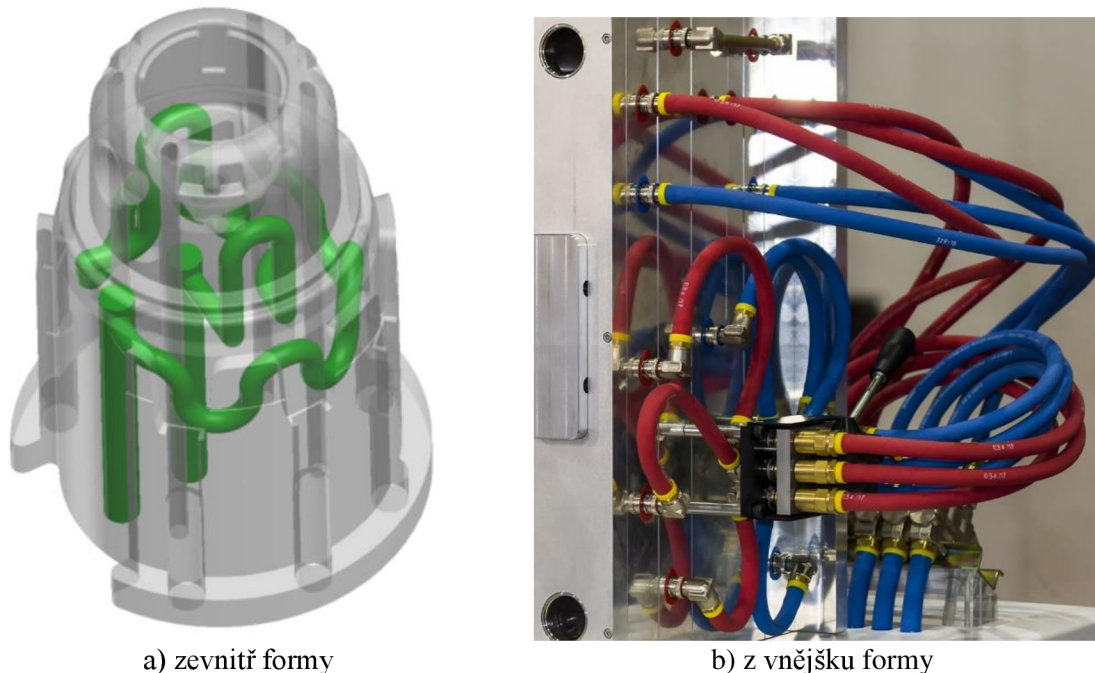
- Horká vtoková soustava (obr. 26) – se vyznačuje tím, že během celého vstříkovacího cyklu je zajištěno její vyhřívání, díky čemuž udržuje taveninu v celé vtokové soustavě v tekutém stavu. Narozdíl od studených soustav tedy dochází pouze k tunutí plastu ve tvarové dutině za vzniku výstřiku. Soustava rozvodu je tepelně i mechanicky velmi namáhána, z toho důvodu mají formy větší tuhost a přesnost. Vyhřívání trysek je obecně konstruováno ve dvou variantách, s vnitřním vytápěním nebo s vnějším vytápěním. Pro vnitřní vytápění slouží torpédové topné těleso, nacházející se uvnitř rozvodného kanálu, kterým proudí tavenina. V oblastech styku se studenou stěnou formy dochází ale k tvorbě zamrzlé vrstvy plastu, kvůli čemuž může materiál mechanicky degradovat. Z toho důvodu se raději využívá vnější vyhřívání, které se skládá z topné spirály navinuté kolem vstříkovací trysky. Mezi výhody horké vtokové soustavy patří odstranění vtokového zbytku a úspora za materiál, zkrácení vstříkovacího cyklu, možnost uzavírání přívodu taveniny skrze trysky, lepší přenos tlaku, snížení nákladů na dokončovací operace, stabilnější homogenita materiálu ve všech výstřicích. Nevýhodami jsou velké finanční náklady na pořízení, náročný servis forem, dlouhá výměna stávajícího vstříkovaného materiálu za nový a možná degradace materiálu z důvodu přehřívání. V technické praxi se horké vtokové soustavy využívají pro velkosériovou výrobu a tvarově složité výstřiky. [4; 26; 28; 30; 36]

2.7 Temperační systém

Slouží k zajišťování správného přívodu nebo odvodu tepla, díky tomu se dosahuje optimálního teplotního režimu vstřikovací formy. Teplota formy a způsob její temperace má značný vliv na vlastnosti výstřiku, jeho deformaci a celkovou dobu vstřikovacího cyklu. Temperace se taktéž velmi projevuje na ekonomickém provozu formy, chlazení zhotovovaného výstřiku zabírá přibližně 70 % celkového vstřikovacího cyklu. [4; 20; 26]

Běžně používaným temperačním médiem je voda, která cirkuluje skrze temperační kanály, umístěné v deskách formy. Standardně se využívá do teplot 90 °C, při temperování vyšších teplot je nutné zvolit olej. Přívod a odvod kapaliny zajišťují temperační přístroje, vybaveny čerpadlem a systémem pro ohřev a chlazení. Starají se taktéž o zajištění turbulentního proudění v temperačních kanálech, to přispívá k výraznému přenosu tepla z dutiny formy. [20; 26]

Navržená temperační soustava musí obstarávat co nejrovnoměrnější chlazení v celém objemu výstřiku, a tím dosáhnout co nejkratšího a nejefektivnějšího odvodu tepla. Zajištění těchto požadavků je docíleno pomocí správné volby průřezu chladících kanálů a jejich rozmístění na obou polovinách formy (obr. 27). Z praktického hlediska je vhodnější používat větší množství kanálů o menším průřezu než menší množství kanálů s větším průřezem. Navrhnuté rozmístění lze následně zkontrolovat pomocí softwarových simulací, díky nimž může konstruktér odhalit jakékoliv vady ve zvolené temperaci. [20; 26; 36]



Obr. 27 Temperační systém formy [40; 41].

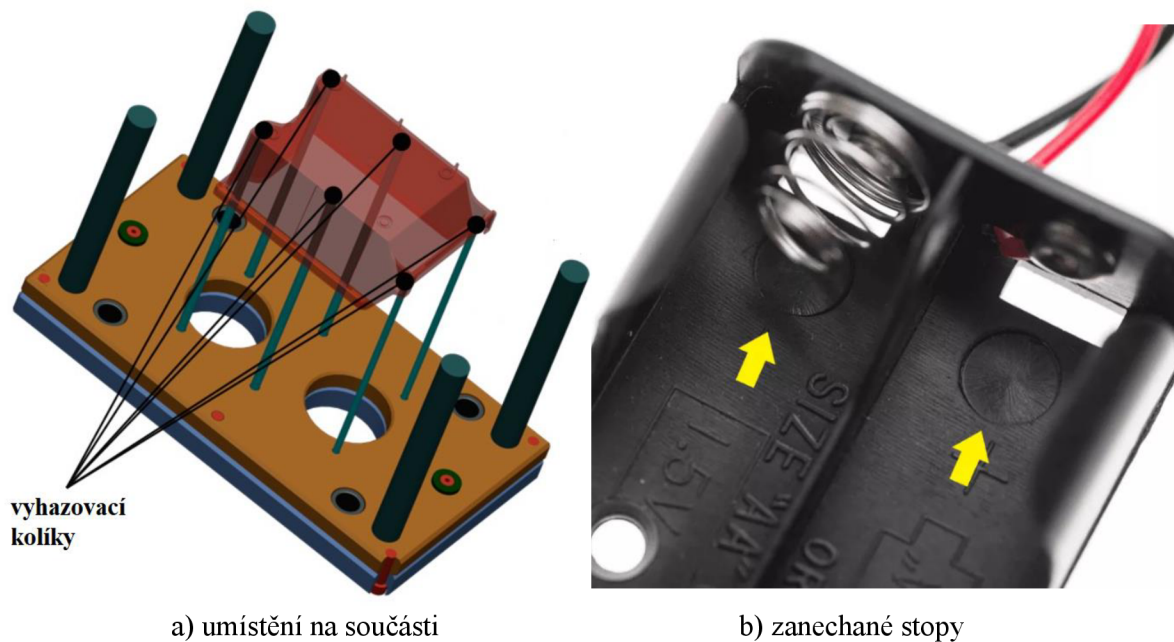
Temperační kanály ve vstřikovací formě se běžně zhotovují vrtáním. Bohužel, není vždy zcela jednoduché zajistit a zhotovit optimální chladicí okruh, hlavním problémem bývá tvarová a prostorová složitosti dutiny formy. Řešením problému může být zvolení jiné výrobní technologie, např. metody DMLS. Ta na rozdíl od vrtání umožňuje dle tvaru výstřiku zhotovit jakékoliv prostorové uspořádání temperačních kanálů, jež mnohem lépe zajistí odvod tepla. Díky tomu dojde k docílení kratších výrobních časů a zlepšení jakosti výstřiku. Jejich nevýhodou je ale velmi problematické čištění při zanesení. [20; 28; 42]

2.8 Vyhazovací systém

Ochlazením výstřiku dochází k jeho smrštění a následnému ulpívání na tvarové dutině formy, k jeho vyjmutí slouží vyhazovací systém pracující v automatickém režimu. Společně s vyhozeným výstřikem dochází i k vyhození vtokového zbytku, to především platí u studených vtokových soustav. Dopředný pohyb vyhazovačů uskutečňuje vyhození zhotoveného výstřiku, zpětný pohyb slouží k návratu do původní polohy. K dobrému odformování výstřiku je potřeba zajistit dostatečně velkou plochu o hladkém povrchu, úkosovitost stěn o minimální hodnotě $0^{\circ}30'$ a technologické rádiusy. [4; 26; 28; 36]

Vyhazovací systém má za úkol výstřik z formy vysunovat rovnoměrně, díky tomu je zajištěno, že u výstřiku nedojde k jakékoliv deformaci nebo poškození. Po vyhazovacích kolících vznikají z pravidla na plastovém výstřiku nežádoucí stopy, z toho důvodu je potřeba dobře navrhnout umístění vyhazovacího systému. Nejlepší volbou pro umístění jsou místa nepohledová a nefunkční. Výstřik bývá z formy vyhozen až po jeho dostatečném ztuhnutí. Doba, po kterou tuhne se odvíjí od velikosti výstřiku, teploty formy a vstříkovaném materiálu. V technické praxi to může znamenat několik jednotek až desítek sekund. V případě odformování výstřiku, který ještě není v dostatečně stabilním stavu, může dojít k jeho deformaci nebo případnému propíchnutí. [3; 26]

Vyhazovací systémy jsou konstruovány ve variantě mechanické, hydraulické nebo pneumatické. Nejvyužívanější jsou mechanické vyhazovací systémy, jež se vyznačují nízkou pořizovací cenou, jednoduchou konstrukcí a spolehlivou funkcí. Existuje několik druhů, mezi některé z nich patří vyhazovací kolíky (obr. 28), stírací desky nebo stírací kroužky. [26; 30]



Obr. 28 Vyhazovací kolíky [30; 43].

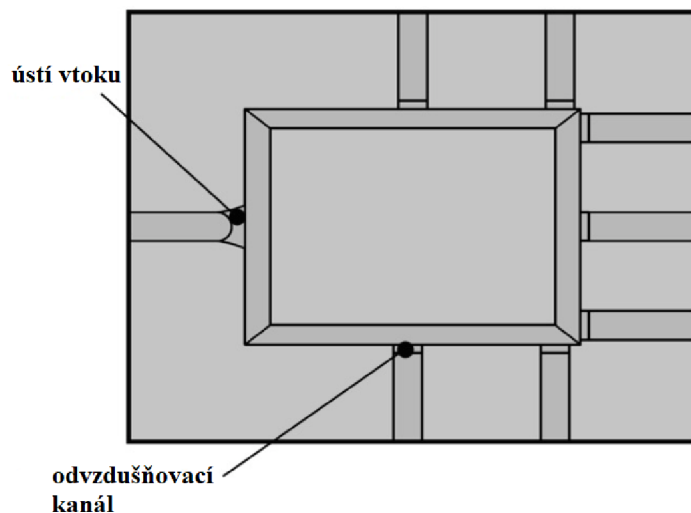
2.9 Odvzdušnění

Před procesem vstřikování bývá v dutině formy nahromaděn uzavřený vzduch, který během jejího plnění silově působí proti vtoku taveniny. Pokud má vzduch možnost z formy uniknout, tak vyplnění tvarové dutiny taveninou bude bezproblémové a nebude docházet ke vzniku jakýchkoliv defektů na výstřiku. Pokud ovšem vzduch z formy uniknout nemůže a je taveninou uzavírán, dochází k jeho stlačování a ohřívání na vysokou teplotu. Následuje jeho expanze, tzv. Diesel efekt (obr. 29), který má za následek nedostříknutí materiálu, tvorbu bublin, lokální degradaci taveniny nebo dokonce její vzplanutí. Všechny zmíněné jevy mají za následek výrobu výstřiků s tvarovým nebo vzhledovým defektem, proto je potřeba těmto jevům předejít správným odvzdušněním, kterého je možno docílit následujícími způsoby [1; 3; 20; 26]:

- hlavní dělicí rovinou,
- vůlí mezi pevnými částmi formy,
- vůlí mezi pohyblivými částmi formy,
- odvzdušňujícími kanály,
- pomocí vyhazovačů.



Obr. 29 Diesel efekt [44].



Obr. 30 Rozmístění odvzdušňovacích kanálů [30].

Správné navržení místa pro odvod vzduchu z dutiny formy se určuje dle tvaru výstřiku, v případě nejasného umístění může konstruktér využít softwarových simulací, jež odhalí všechna kritická místa, v nichž s největší pravděpodobností bude docházet k uzavírání vzduchu. Ve snaze eliminovat vzniklé vzduchové kapsy musí být navrženy a zkonstruovány odpovídající odvzdušňovací kanály. Jejich umístění je podél rozváděcích kanálů vtokové soustavy, díky čemuž se docílí toho, že přebytečný vzduch bude v průběhu vstřikování odcházet pryč z dutiny formy. Konstrukce odvzdušňovacích kanálů je nejdůležitější na místech, které tavenina vyplňuje jako poslední. V technické praxi se jedná o nejbližších místech od ústí vtoku. Princip správného rozmístění kanálů je vidět na obrázku č. 30. Na jakost výstřiku má také velký vliv pravidelné čištění odvzdušňovacího systému, díky čemuž je v čase zajištěna výroba stejně kvalitních dílů. [28; 30]

3 NÁVRH VÝROBY

Vyráběnou součástí je tělo pro krokový motor z nově zvoleného materiálu polyamid PA66GF s obsahem 30 % skleněných vláken. Velikost výrobní série činní $100\,000 \text{ ks} \cdot \text{rok}^{-1}$, za neoptimálnější výrobní variantu bylo zvoleno vstřikování plastů. Je proto nutné zaměřit pozornost na výpočty související s technologickými parametry, provést simulační analýzy, konstrukční řešení formy a vybrat adekvátní vstřikovací stroj.

Polyamidy jsou semikrystalické plasty, které se vyznačují svou houževnatostí, pevností a tuhostí. Mají dobrou odolnost vůči opotřebení, povětrnostním vlivům a lze je snadno zpracovávat. Dobře také tlumí rázy, mají izolační vlastnosti. Jsou velmi navlhavé, obsah vody ovlivňuje jejich mechanické vlastnosti. V čisté formě jsou neprůhledné, stárnutím a působením UV záření žloutnou. Dobře odolávají rozpouštědlům, olejům, tukům, naopak koncentrované kyseliny jim škodí. Špatně hoří a mají samozhášivý efekt. I při vyšší teplotách zachovávají svou rozměrovou stálost, provozní teploty se pohybují v rozmezí -40°C až 125°C . [46; 47]

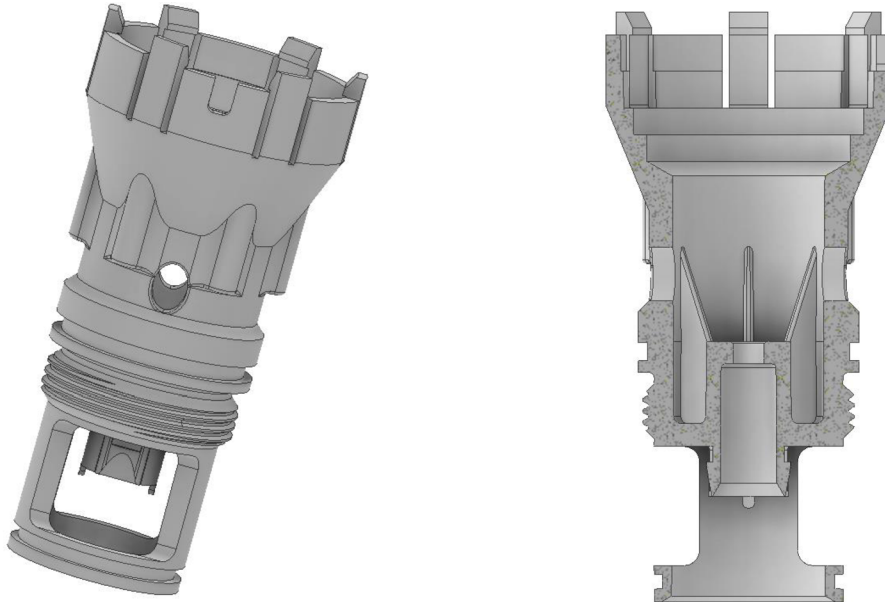
Polyamid PA66GF doplněný o 30 % skleněných vláken se vyznačuje výbornými mechanickými vlastnostmi, hlavně vysokou pevností, tuhostí, odolností vůči creepu a opotřebení. Díky skleněnému plnivu si polyamid dobře zachovává rozměrovou stabilitu i při vyšších teplotách, černé barvivo mu zase dodává lepší odolnost vůči UV záření. Oproti ostatním polyamidům má menší nasákavost vody a atmosférické vlhkosti. Materiál se typicky využívá ve strojírenství, automobilovém nebo elektrotechnickém průmyslu. Pro výrobu zadané součásti se jedná o ideální materiál z důvodu zmíněných mechanických vlastností, odolnosti vůči vyšším teplotám a menší nasákavosti vody. Základní vlastnosti zvoleného materiálu jsou k vidění v tabulce č. 4, kompletní materiálový list je k nahlédnutí v příloze č. 1. [48; 49]

Tab. 4 Základní vlastnosti Ultramid® A3EG6 v suchém stavu [50].

Název	Značka	Hodnota	Jednotka
Hustota vstřikovaného materiálu	ρ	$1,36 \pm 0,02$	$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$
Nasákavost vody	-	5,5	%
Nasákavost vlhkosti	-	1,7	%
Teplota tání	T_t	260	$^\circ\text{C}$
Teplota taveniny	T_M	290	$^\circ\text{C}$
Teplota formy	T_F	80	$^\circ\text{C}$
Teplota při odformování	T_o	195	$^\circ\text{C}$
Rychlost vstřikování	v_s	200	$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$
Smrštění II/L ke směru tečení	s_v	0,5 / 1	%
Mez pevnosti	R_m	190	MPa
Tažnost	A_2	3	%
Vrubová houževnatost $23^\circ\text{C} / -30^\circ\text{C}$	KV	85 / 70	$\text{kJ} \cdot \text{m}^2$

3.1 Posouzení technologičnosti

Pro správnou výrobu součásti nově zvolenou metodou je zapotřebí pozměnit stávající tvar těla pro krokový motor za novější návrh, splňující technologická pravidla pro vstřikované dílce. Jedná se například o snadné zatékání materiálu do všech částí tvarové dutiny formy, jednoduché odformování, apod. Upravený vzhled součásti je vidět na obr. 31, provedené mechanické simulace namáhání jsou k nahlédnutí v příloze č.5. Dle pravidel technologičnosti bylo potřeba u dílce dbát na:



Obr. 31 3D model součásti a její zobrazení v řezu.

- Tloušťku stěn – ovlivňuje mechanické vlastnosti součásti a její celkovou hmotnost, to je spjato s finanční náklady na použitý materiál. Je třeba dbát na co nejrovnoměrnější tloušťku stěn a vyhnout se náhlým přechodům tlusté a tenké stěny. V případě nahromadění většího množství materiálu v jednom místě může docházet k propadům. Hodnota tloušťky stěny s_2 se u součásti pohybuje v intervalu od 1,5 mm do 4,7 mm.
- Technologické úkosity – slouží ke snadnějšímu odformování a vyhození výstřiku z tvarové dutiny formy. Umisťují se na vnitřní i vnější povrchy rovnoběžné ke směru otevírání formy. Pro zajištění správného navedení jader do tvarových dutin a usnadnění vyhození byl dílec opatřen vnitřními úkosity o jmenovité hodnotě $0,4^\circ$. Vnější úkosity jsou konstruovány pouze v oblasti zápichů, jež slouží pro umístění O-kroužků. Jmenovitá hodnota zde činí 2° .
- Technologické rádiusy – mají za úkol snížení koncentrace napětí na ostrých hranách, díky čemuž zlepšují mechanickou odolnost součásti. Také přispívají k lepší zabíhavosti vstřikovaného materiálu v dutině formy. Model byl doplněn o několik technologických rádiusů R o velikosti 0,3 – 1,5 mm.
- Žebrování – slouží ke zvýšení pevnosti a tuhosti dílce, redukuje vznik propadlin na povrchu. V technické praxi se šířka žebrování volí jako (50 – 80)% celkové tloušťky stěny dílce v dané oblasti. Pro zadanou součást byla zvolena hodnota 80 %.
- Smrštění – je faktor ovlivňující celkové rozměry součásti po jejím ochlazení. Z důvodu dosažení stanovených rozměrů na výstřiku je proto nutné zvětšit tvarovou dutinu formy o hodnotu smrštění uvedenou dle TDS materiálu. Pro PA66GF s obsahem 30 % skleněných vláken s obchodním názvem Ultramid® A3EG6 se smrštění rovnoběžně na směr tečení rovná hodnotě 0,5%, kolmo 1%.

3.2 Výpočet technologických parametrů

Ke správnému konstrukčnímu řešení formy a následnému zvolení vhodného vstřikovacího stroje je nejprve nutné určit základní technologické parametry. Potřebné výpočty lze provést dle následujících vztahů [3]:

- Objem vstřikované součásti

$$V = 19\,101,66 \text{ mm}^3 = 19,1 \text{ cm}^3$$

Objem byl určen z 3D modelu dílce v programu Creo Parametrics 2022.

- Hmotnost výstřiku:

$$G = \rho \cdot V \quad (3.1)$$

$$= 1,36 \cdot 19,1 = 26,0 \text{ g}$$

kde: ρ – hustota vstřikovaného materiálu [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$],
volena střední hodnota $1,36 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$.

- Stanovení praktické násobnosti:

Slouží pouze k orientačnímu určení násobnosti, v technické praxi se častěji vychází ze zkušeností, finanční návratnosti nebo dle požadovaných dodávek v čase. Z grafu byla dle požadované výrobní série, která činí $100\,000 \text{ kusů} \cdot \text{rok}^{-1}$, vyčtena násobnost o hodnotě $n_p = 1$. Zmíněný graf je k nahlédnutí v příloze č. 2.

I když zmíněným vyčtením vychází, že forma bude koncipována jako jednonásobná, tak přesto bylo rozhodnuto, že bude v praxi zvolena varianta čtyřnásobná. Je to z toho důvodu, že součást bude vyráběna a uváděna na trh po dobu dalších 15-20 let, díky čemuž se čtyřnásobnou formou výrazně sníží náklady na budoucí zhotovené kusy, sníží se opotřebení formy a zvýší se její životnost. Z tohoto důvodu bude forma v následujících úvahách brána jako čtyřnásobná ($n_F = 4$).

- Délka rozvodného kanálu:

Většinou se volí jako hodnota největšího rozměru součásti, v tomto případě byl rozvodný kanál konstruován o délce $L_k = 40,5 \text{ mm}$.

- Výpočet průměru rozváděcího kanálu:

Tab. 5 Koefficient závislý na délce rozvodného kanálu [3].

Délka kanálu L_k [mm]	K_2	Délka kanálu L_k [mm]	K_2
0 – 20	1	100 – 150	1,2
20 – 40	1,04	150 – 200	1,29
40 – 70	1,08	200 – 250	1,39
70 – 100	1,12	250 – 300	1,51

Tab. 6 Koeficient závislý na hmotnosti a tloušťce součásti [3].

G – hmotnost výstřiku [g]	$s_2 =$ tloušťka stěny plastového dílce [mm]							
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
0	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
<10	2,55	3,06	3,56	4,05	4,55	5,04	5,54	6,03
10 – 16	2,59	3,09	3,59	4,09	4,57	5,06	5,56	6,05
16 – 25	2,63	3,14	3,64	4,13	4,62	5,1	5,59	6,08
25 – 40	2,72	3,22	3,73	4,21	4,69	5,16	5,64	6,12
40 – 63	2,84	3,35	3,86	4,34	4,79	5,25	5,72	6,19
63 – 100	3,04	3,55	4,08	4,53	4,96	5,4	5,85	6,3
$K_1[-]$	1,19	1,15	1,13	1,12	1,11	1,1	1,09	1,08

Hodnota s_2 byla určena pomocí aritmetického průměru z intervalu tlouštěk stěny a zaokrouhlena směrem nahoru.

$$D_k = D' \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (3.2)$$

$$= 5,16 \cdot 1,1 \cdot 1,08 = 6,1 \text{ mm}$$

kde: D' – předběžný průměr rozvodného kanálu [mm],

K_1 – koeficient tekutosti materiálu [-],

K_2 – koeficient délky rozváděcího kanálu [-].

- Objem rozváděcího kanálku:

$$V_k = \frac{\pi}{4} \cdot D_k^2 \cdot L_k \quad (3.3)$$

$$= \frac{\pi}{4} \cdot 6,1^2 \cdot 40,5 = 1183,6 \text{ mm}^3 = 1,2 \text{ cm}^3$$

- Celkový objem vtoku:

$$V_{\text{vtok}} = n_F \cdot V_k + 2,5 \cdot V_k \quad (3.4)$$

$$= 4 \cdot 1,2 + 2,5 \cdot 1,2 = 7,8 \text{ cm}^3$$

- Dávka taveniny:

$$V_D = \frac{n_F \cdot V + V_{\text{vtok}}}{K_a} \quad (3.5)$$

$$= \frac{4 \cdot 19,1 + 7,8}{1,22} = 69,0 \text{ cm}^3$$

kde: K_a – faktor navýšení objemu taveniny [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$],

zvolena hodnota $1,22 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$.

- Určení doporučeného vstřikovacího tlaku:

Doporučený vstřikovací tlak byl odečten z tabulky v přílohy č. 3, hodnota byla určena pomocí aritmetického průměru z intervalu určeného pro materiál PA66.

$$p_V = 1100 \text{ bar}$$

- Tvářecí tlak:

$$p_A = \frac{p_V}{2} + 100 \quad (3.6)$$

$$= \frac{1100}{2} + 100 = 650 \text{ bar}$$

- Plocha průmětu tvarové dutiny do dělicí roviny:

$$S = 10\,126,4 \text{ mm}^2 = 101,3 \text{ cm}^2$$

Plocha průmětu tvarové dutiny do dělicí roviny byla určena pomocí v software Inventor Professional 2023.

- Uzavírací síla:

$$F_u = S \cdot \frac{p_A + 100}{100} + 100 \quad (3.7)$$

$$= 101,3 \cdot \frac{650 + 100}{100} + 100 = 759,8 \text{ kN}$$

- Doba plnění:

Předpokládaná doba plnění pro zvolený dílec se pohybuje v rozmezí 1,5-1,7 s, zvolena bude prostřední hodnota, tedy $t_v = 1,6 \text{ s}$

- Doba chlazení a dotlaku:

Předpokládaná doba chlazení a dotlaku je v rámci 22-25 s, bude zvolena hodnota $t_{ch} = 23 \text{ s}$.

- Výpočet doby vstřikovacího cyklu:

$$t_c = t_v + t_{ch} + t_{ost} \quad (3.8)$$

$$= 1,6 + 23 + 18 = 42,6 \text{ s}$$

kde: t_{ost} – doba trvání ostatních úkonů [s].

- Minimální plastifikační kapacita vstřikovacího stroje:

$$C_p \geq \frac{4 \cdot \rho \cdot V_D}{t_c} \quad (3.9)$$

$$\geq \frac{4 \cdot 1,36 \cdot 69,0}{42,6} = 8,8 \text{ kg} \cdot \text{hod}^{-1}$$

- Minimální vstřikovací kapacita stroje:

$$C_v \geq 1,1 \cdot V_D \quad (3.10)$$

$$\geq 1,1 \cdot 69,0 = 75,9 \text{ cm}^3$$

- Optimální průměr šneku:

$$7,5 \cdot \sqrt[3]{V_D} < D_S < 10,5 \cdot \sqrt[3]{V_D} \quad (3.11)$$

$$7,5 \cdot \sqrt[3]{69,0} < D_S < 10,5 \cdot \sqrt[3]{69,0}$$

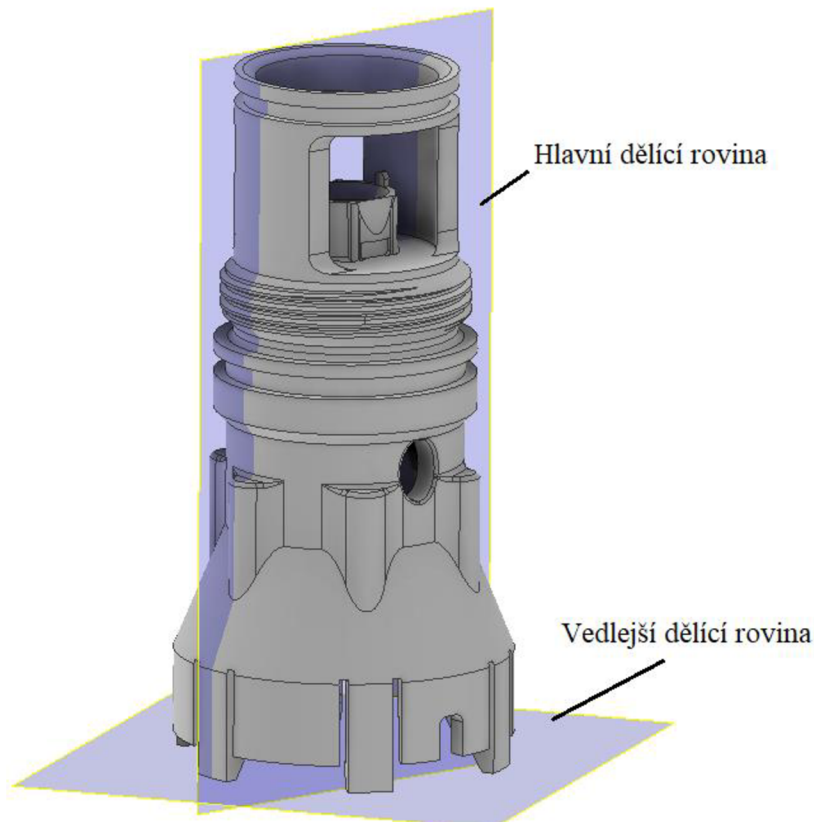
$$30,8 < D_S < 43,1$$

Tab. 7 Normalizované průměry šneků [3]

Průměr šneku D_S [mm]											
20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90

Z tabulky č. 7 je dle výpočtu 3.11 pro optimální šnek zvolena prostřední hodnota, je zvoleno $D_S = 35 \text{ mm}$.

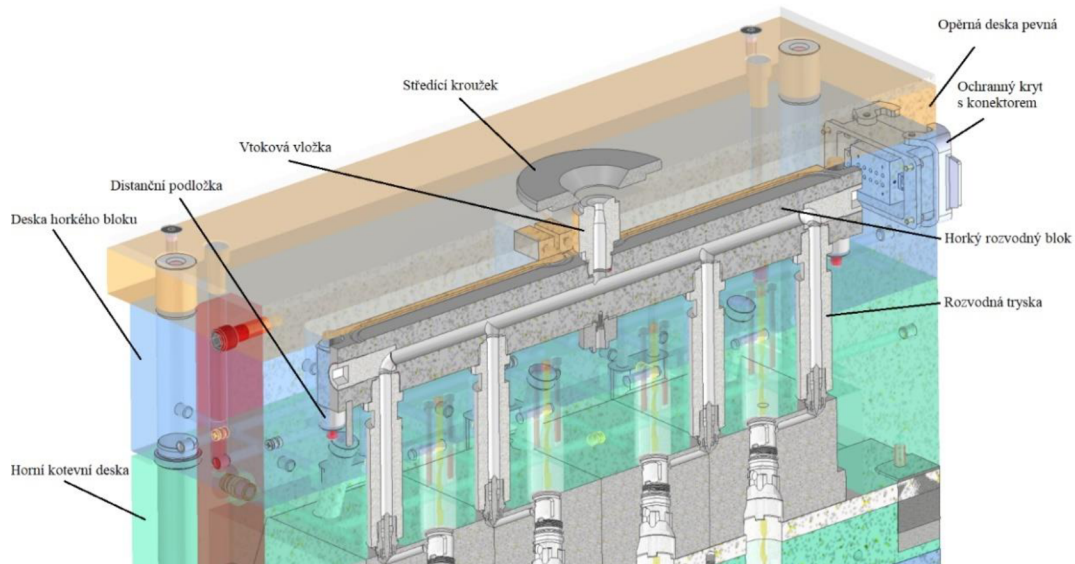
- Poloha dělicí roviny – je jedním ze základních parametrů, který velmi výrazně ovlivňuje odformování výstřiku, a tím i celkovou konstrukci vstřikovací formy. Z důvodu složitosti vybraného dílce byla potřeba pro správné odformování volit hned dvě na sebe kolmé roviny, viz obr. 33. Hlavní dělicí rovina, která je rovnoběžná na směr otevírání, se nachází na tvarovém styku bočních šíbrů, díky čemuž je zajištěno zaformování vnějších stran součásti včetně otvorů. Vedlejší dělicí rovina, je umístěna na rozmezí horní kotevní desky a stírací desky, je proto kolmá na směr otevírání. Zajišťuje, že po vstříknutí plastu do tvarové dutiny a následném odjetí pohyblivé poloviny formy zůstává zhotovený výstřik přichycen na dolním tvarovém jádru, kde čeká na vyhození.



Obr. 33 Zvolené dělicí roviny na součásti

- Vtoková soustava – slouží pro přívod taveniny do tvarové dutiny, u vícenásobných forem je třeba zajistit přívod tak, aby tavenina zaplnila ve stejném okamžiku zároveň všechny kavity. Z důvodu tvarové složitosti součásti a efektivnějšího plnění byla pro zadání zvolena horká vtoková soustava kombinovaná se studeným podrozvodem. To znamená, že se u výstřiku bude nacházet i vtokový zbytek, který bude následně potřeba odstranit. Vybraný horký rozvodný blok řady ELS-4 od výrobce THERMOPLAY je osazen čtyřmi tryskami v jedné řadě (obr. 34), každá tryska následně slouží pro plnění jedné dutiny formy umístěné v bočních šíbrech. Rozvod taveniny je řešen pomocí zmíněných studených podrozvodů, napojení na tvarovou dutinu je řešeno bodovým vtokem.

Horký rozvodný blok je umístěn v desce horkého bloku, nacházející se mezi opěrnou deskou pevnou a horní kotevní deskou. Deska je opatřena speciální dutinou umožňující vložení zmíněného horkého bloku. Ten je v ní uložen na distančních podložkách, proti pootočení ho jistí válcové kolíky. K prostrčení rozvodných trysek jsou v desce vyhotoveny patřičné otvory. Horký blok musí být z důvodu vyhřívání připojen ke zdroji elektrické energie, pro úkon slouží dva konektory umístěné v ochranných krytech na boční straně formy.

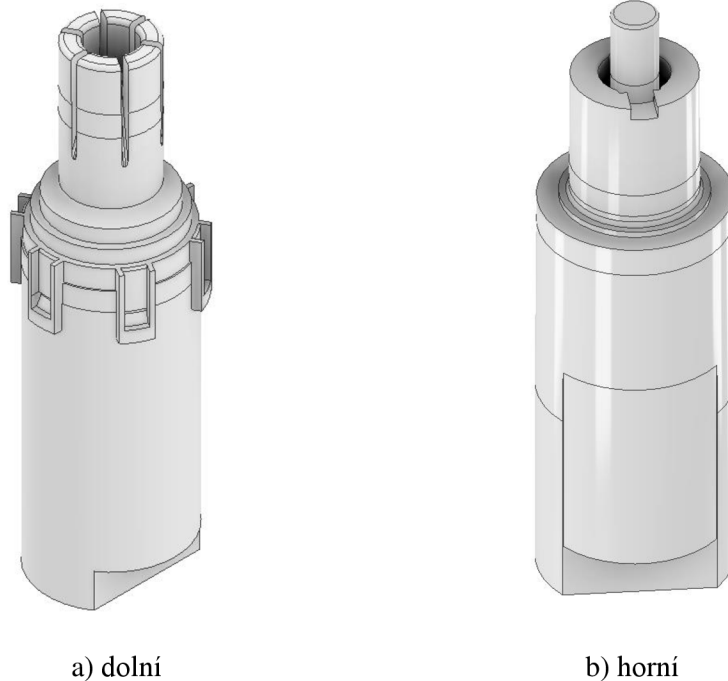


Obr. 34 Umístění horké vtokové soustavy

- Tvarová dutina formy – usměrňuje tečení vstříknuté taveniny a udávají finální tvar zhotovenému dílu. Z důvodu tvarové složitosti výrobku musí být tvarová dutina tvořena za pomoci horních a dolních jader (obr. 35), jež slouží pro vytvarování vnitřních rozměrů, a bočních šíbrů, které zajišťují vnější zaformování. Vzniklá tvarová dutina musí být zvětšena o hodnotu smrštění, v tomto případě se jedná 0,5 % pro rozměry rovnoběžné ke směru tečení taveniny a 1 % pro rozměry kolmé ke směru tečení.

Tvarová jádra jsou prostrčena skrze díry v kotevních deskách a pomocí šroubů připevněna k opěrné pohyblivé desce nebo desce horkého bloku. Jejich správné natočení je zajištěno válcovými kolíky. V jádrech jsou mimo jiné vyvrtány kanály, sloužící k uchycení přepážkové spirály pro temperaci.

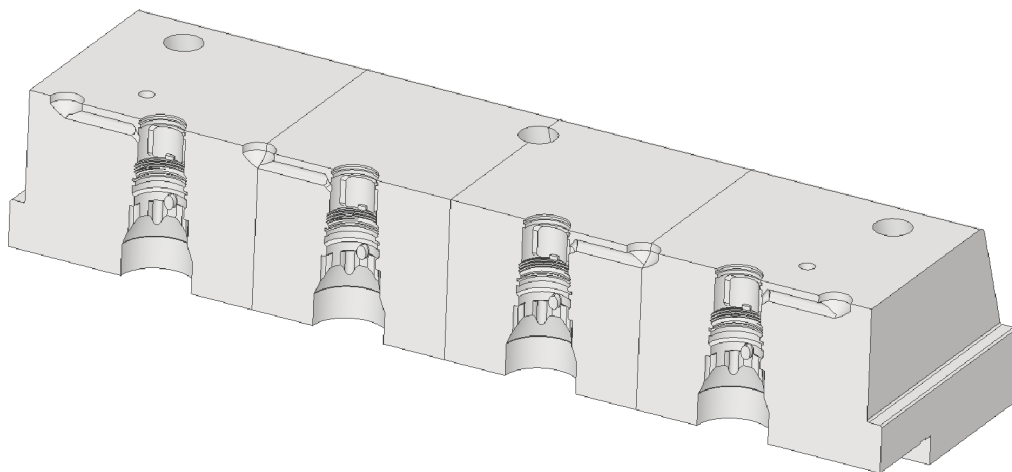
Jak již bylo zmíněno, boční šíbr, viz obr. 36, slouží k zaformování vnějších rozměrů a vytvarování otvorů kolmých na hlavní dělicí rovinu. Každý šíbr je při otevírání nebo zavírání formy veden pomocí tří šikmých kolíků nakloněných pod úhlem 20° a usazených v horní kotevní desce. Posuvné vodících jednotky a kalené destičky přichycené šrouby ke spodní kotevní desce slouží pro jejich přesný a plynulý pohyb. Poloha šíbrů při otevření formy je zajištěna čtveřicí šroubů z každé strany, jež plní funkci koncového dorazu. Při uzavření je poloha zajištěna tlačnými klíny, které šíbrы uzamknou ve stávající poloze bez možnosti jakéhokoliv pohybu.



a) dolní

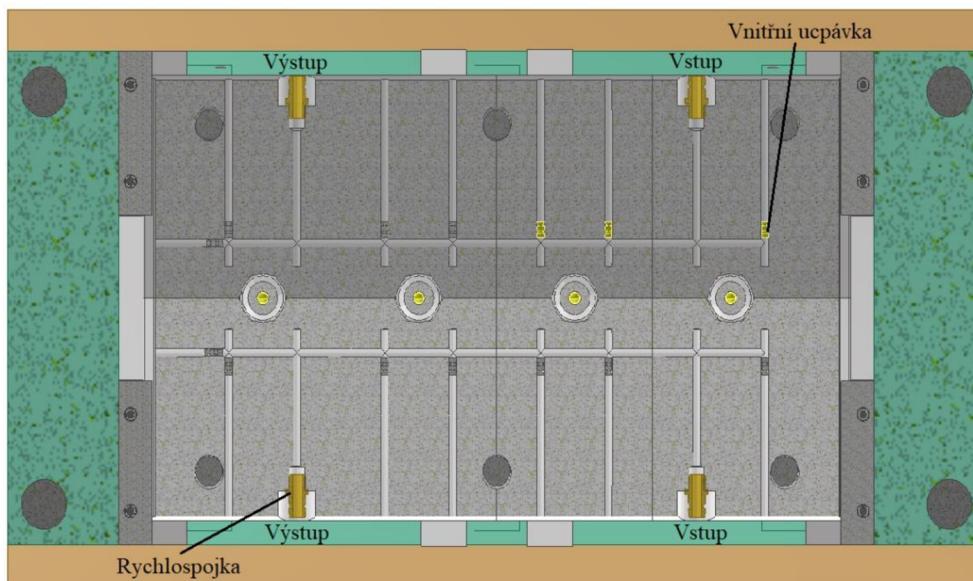
b) horní

Obr. 35 Tvarová jádra.

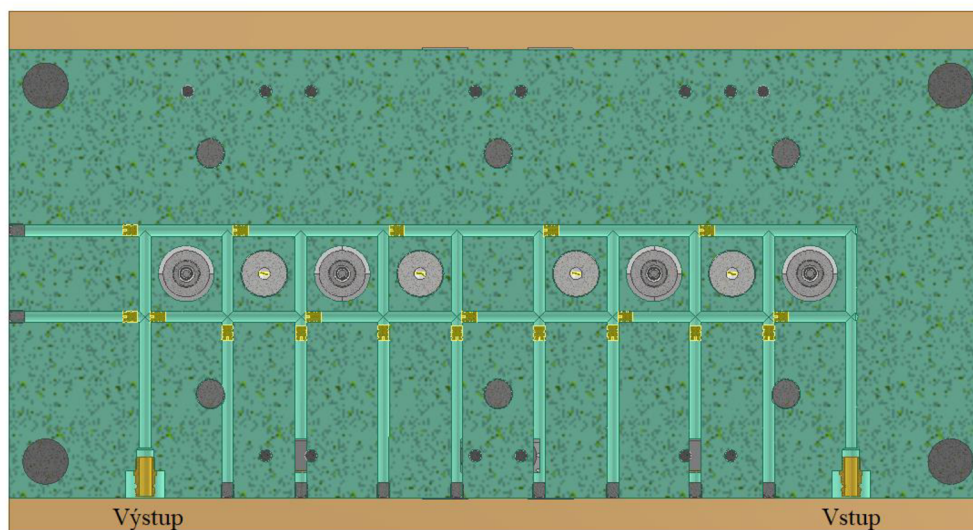


Obr. 36 Boční šibr.

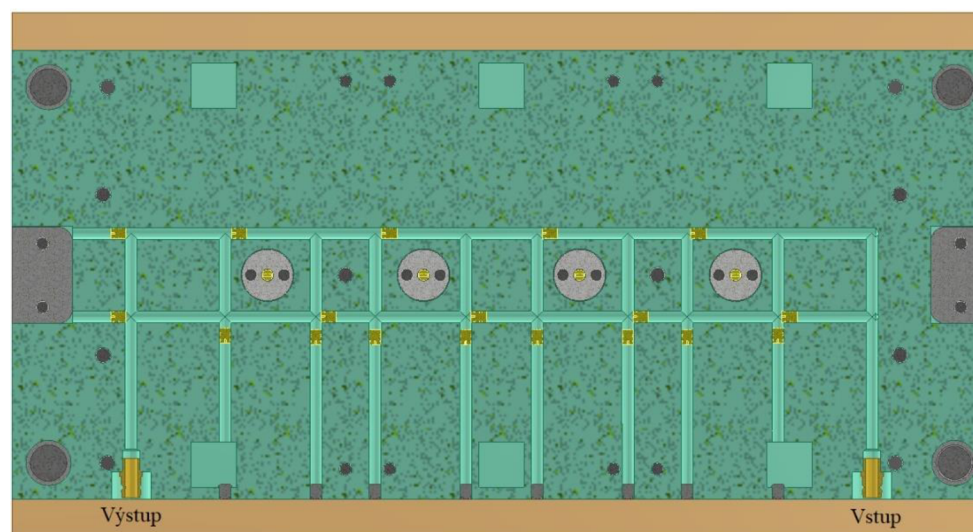
- **Temparační systém** – je důležitým prvkem, který ovládá přívod nebo odvod tepla z formy, díky čemuž ovlivňuje celkovou kvalitu výstřiků. Temparační okruhy jsou tvořeny komplexním systémem vrtaných kanálů o průměru 8 mm nacházejících se v deskách formy, viz obr. 38, 39. Rozmístění je voleno tak, aby docházelo co možná k nejefektivnějšímu odvodu tepla pryč z tvarových dutin. K temparačním okruhům jsou připojena i tvarová jádra, v nichž jsou rozmístěny přepážkové spirály, přispívající k lepšímu odvodu tepla z vnitřních prostor výstřiku. Na přechodech mezi deskami a jádry jsou pro zatěsnění využity O-kroužky. Tak jak je tomu u tvarových jader, i šibrý jsou doplněny o vrtané kanály pro temperaci (obr. 37). Vnitřní ucpávky, umístěné v jednotlivých okruzích, řídí tok temparační kapaliny, vnější ucpávky utěsňují vrtané otvory. Připojení k proudícímu médiu probíhá pomocí rychlospojek. Celkově se ve formě nachází šest temparačních okruhů.



Obr. 37 Temperace bočních šibrů.

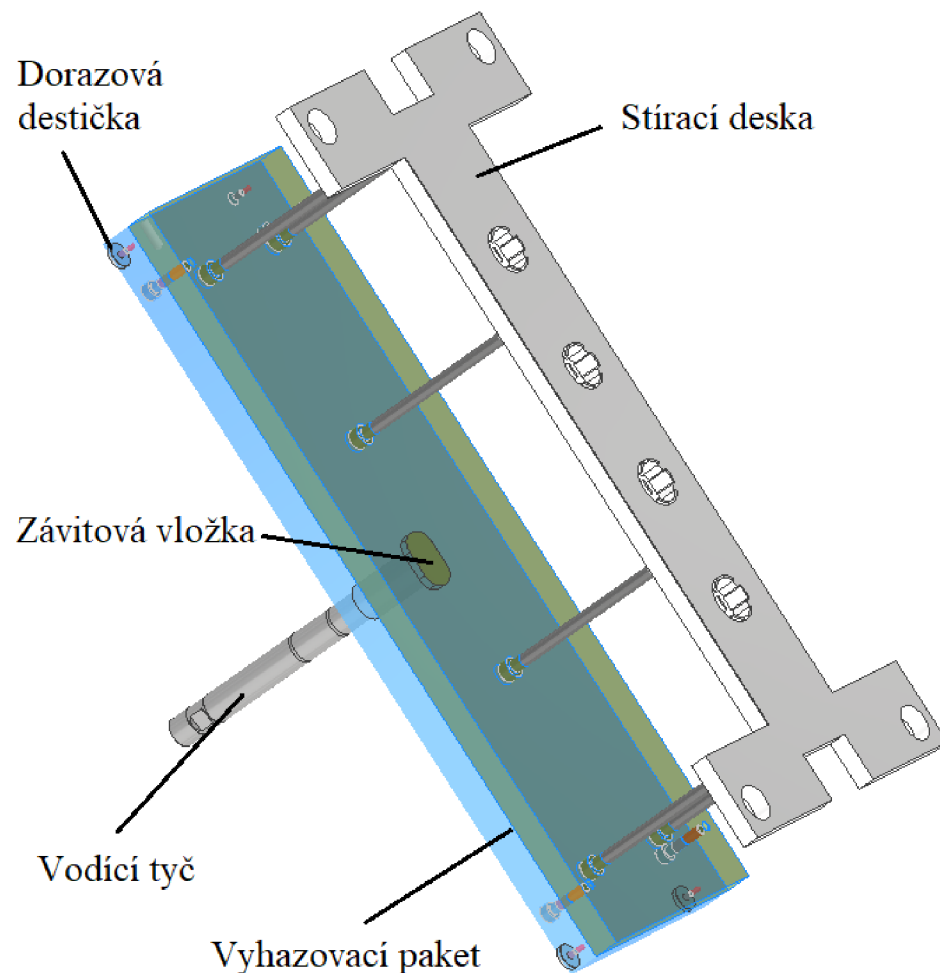


Obr. 38 Temperace horní kotevní desky.



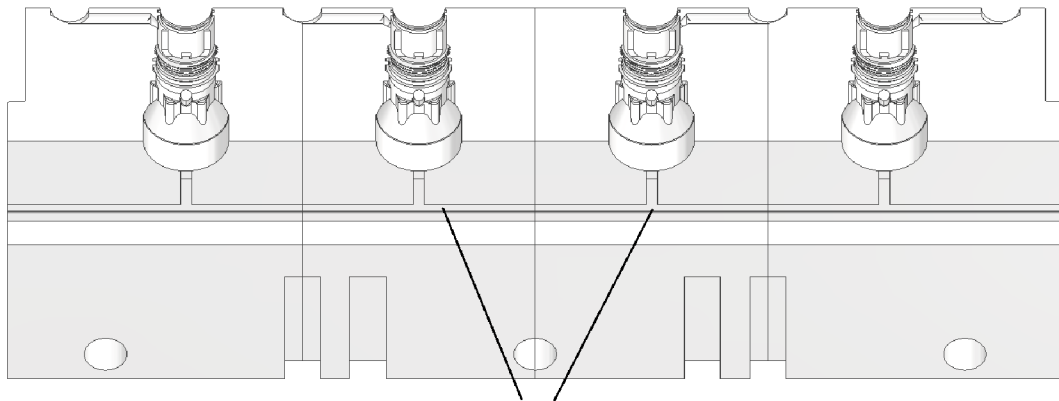
Obr. 39 Temperace dolní kotevní desky.

- Vyhazovací systém – slouží k vyjmutí zhotoveného dílu ze vstřikovací formy, pro docílení co možná nejoptimálnějšího vyhazování byla zvolena stírací deska, která nebude na výstřiku zanechávat nežádoucí stopy. Po odformování vnějších rozměrů bočními šibry a odjetí horní kotevní desky, zůstávají vyrobené výstřiky, včetně vtokových zbytků, přichyceny na dolních jádrech v pohyblivé polovině formy, ze které jsou následně pomocí stírací desky odstraněny všechny najednou. Vtokový zbytek je od výstřiku odstraněn až dodatečně po výrobě. Vyhazovací systém se skládá z vyhazovacího paketu, který je tvořen dvěma deskama, v nichž jsou rozmístěny a ukotveny šrouby spojené se stírací deskou, viz obr. 40. Pro dosedávání paketu na upínací desku slouží čtveřice dorazových destiček, uchycených na vyhazovací opěrné desce. Zdvih paketu je docílen pomocí závitové vložky, na níž je přišroubována vodící tyč upevněná v dutině stoje. Maximální hodnota zdvihu činí 80 mm. Samotná stírací deska je tvořena několika otvory a vybráními nutnými pro vedení vodících sloupků nebo možnosti středění. Uprostřed desky se nacházejí čtyři díry ohraničené výstupky. Díry slouží k navedení dolních jader, výstupky se podílejí na zaformování snapů na součásti a lepšímu zachycení výstřiku při vyhození.



Obr. 40 Vyhazovací systém formy.

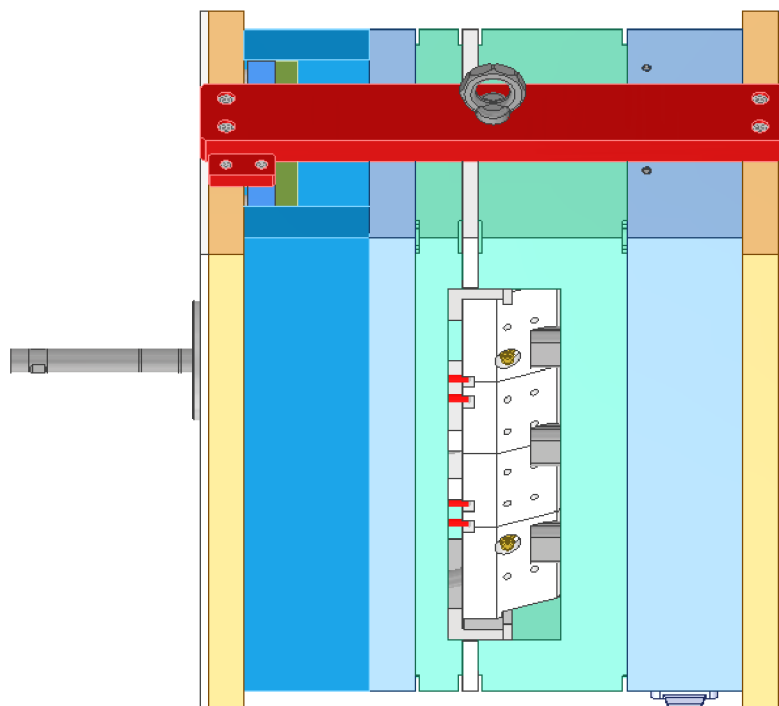
- Odvzdušnění formy – po uzavření formy zůstává v tvarových dutinách nahromaděn vzduch, který je potřeba v průběhu plnění vytlačit ven. V případě nesplnění zmíněné podmínky mohou na výstřiku vznikat defekty, ovlivňující jeho vzhledové a funkční vlastnosti. Pro jejich odstranění byly na spodní straně šibrů zkonstruovány mělké drážky, které vykonávají funkci odvzdušnění (obr. 41). Doporučená hloubka drážek pro PA je 0,02-0,03 mm, z důvodu omezení zástříků je zvolena dolní hranice intervalu. Odvodu vzduchu z formy také napomáhá vůle na stykové ploše dolních jader a stírací desky.



Odvzdušňovací kanály

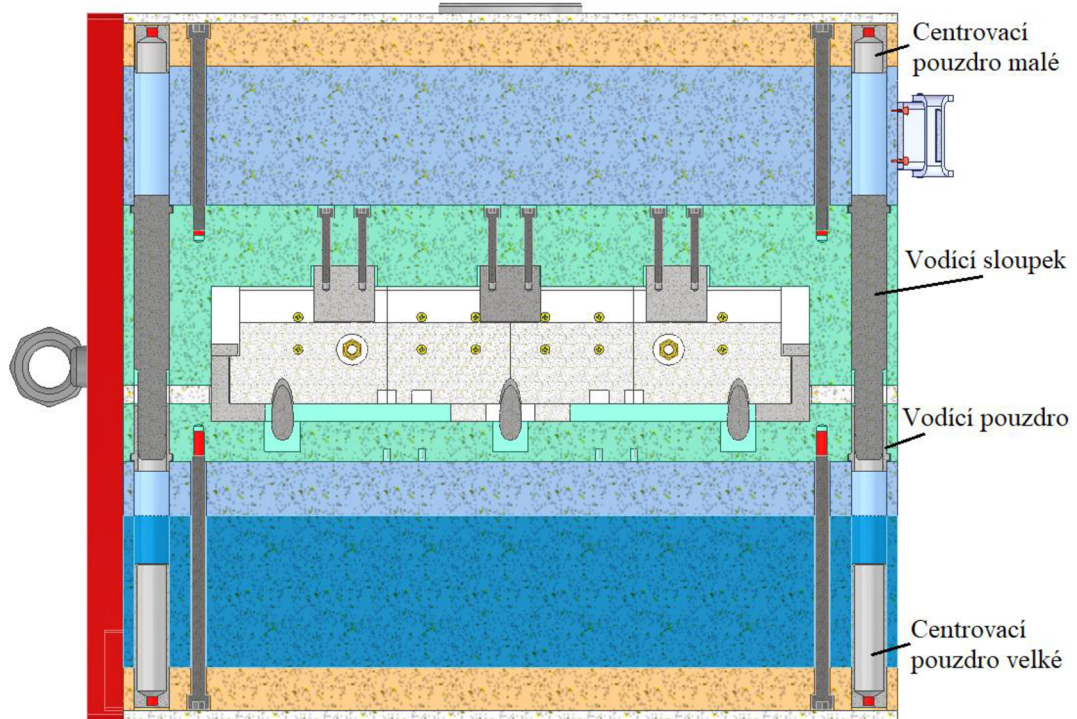
Obr. 41 Rozmístění odvzdušňovacích kanálů na bočním šibru.

- Manipulace s formou – vstříkací formy jsou nástrojem, který se vyznačuje svými velkými rozměry a hmotností, proto je jejich manipulace značně komplikovaná. Pro přepravu a ustavení ve vstříkacím stoju bývá nutné využít například jeřábů. Při přemísťování formy je třeba zajistit její polohu proti pootevření, k tomu se využívá velká fixační deska se závěsným okem, jež je k formě připevněna pomocí čtyř šroubů, viz obr. 42. Fixace vyhazovacího paketu je řešena nápodobně, menší fixační deskou. Z důvodu viditelnosti jsou desky nabarveny na červeně.

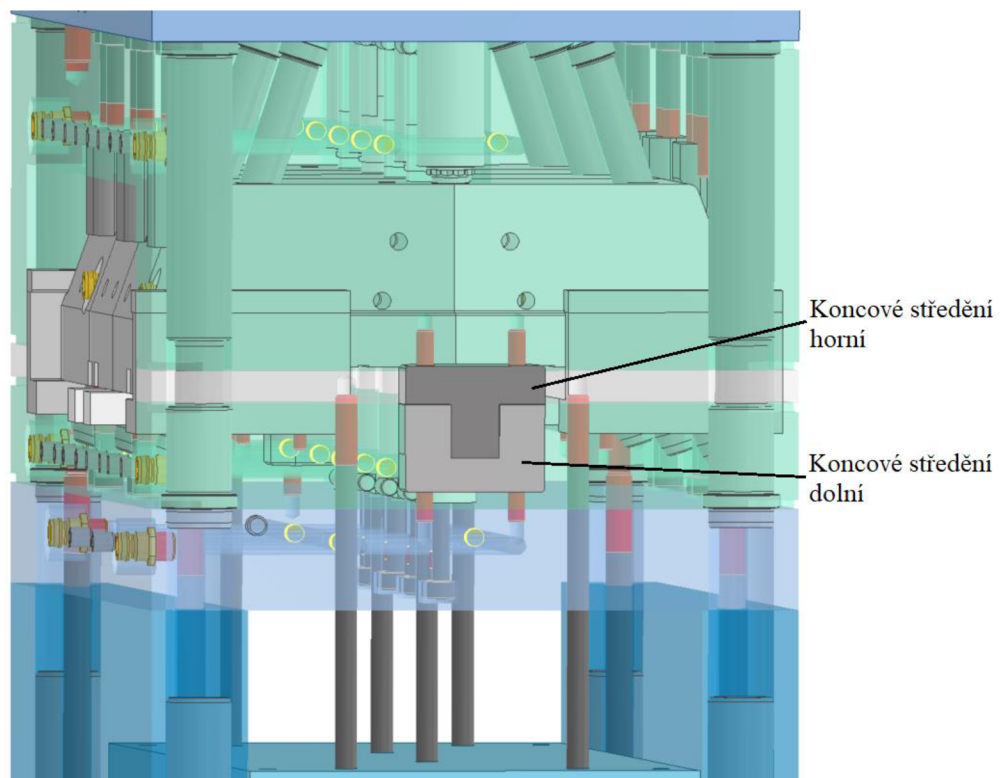


Obr. 42 Manipulační prvky formy.

- Vodící a středící prvky – vedení desek formy je zajištěno pouzdry a vodícími sloupky, viz obr. 43. Desky jsou vzájemně spojeny šrouby tak, že při vzájemném odsunutí utvářejí pohyblivou a nepohyblivou polovinu. Během zavírání formy je třeba zajistit vzájemné středění polovin, k tomuto úkolu se využívá koncové středění (obr. 44) umístěné na okrajích tvarových desek.



Obr. 43 Vodící prvky formy.



Obr. 44 Středící prvky formy.

3.4 Volba vstřikovacího stroje

Na základě vypočtených hodnot technologických parametrů a zkonstruované vstřikovací formy byl jako optimální vstřikovací stroj zvolen Allrounder 420 C GOLDEN EDITION od firmy ARBURG (obr. 45). Jedná se o hydraulický stroj se sloupky o jmenovité uzavírací síle 1000 kN. V tab. 8 jsou uvedeny nejdůležitější parametry stroje, které jsou následně porovnány s důležitými parametry nutnými pro výrobu. Zvolený stroj vyhovuje ve všech zvolených oblastech, výsledkem proto je, že je možné ho plně využítelný k výrobě. Výčet technologických dat a základních rozměrů stroje je uveden v příloze č. 4.



Obr. 45 Vstřikovací stroj Allrounder 420 C [51].

Tab. 8 Srovnání technologických parametrů s údaji o stroji [52].

Parametry	Hodnoty návrhu	Hodnoty stroje	Zhodnocení
Vstřikovací tlak [MPa]	110	200	Vyhovuje
Uzavírací síla [kN]	759,8	1000	Vyhovuje
Průměr šneku [mm]	35	35	Vyhovuje
Velikost dávky taveniny [cm ³]	77,5	144	Vyhovuje
Plastikační kapacita [kg · hod ⁻¹]	8,8	10,5	Vyhovuje
Minimální výška formy [mm]	589	250	Vyhovuje
Zdvih vyhazovače [mm]	80	175	Vyhovuje
Rozměry upínacích desek [mm]	648 x 346	570 x 570	Vyhovuje
Vzdálenost mezi sloupky stroje [mm]	648 x 346	420 x 420	Vyhovuje
Síla při vyhazování [kN]	-	40	-
Příkon [kW]	-	24	-

4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Je jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňujících volbu a rentabilitu zvolené výrobní technologie, v technické praxi se provádí mezi prvními úkony. Zjednodušeně se jedná o vyčíslení veškerých nákladů spojených s výrobou jednoho kusu těla pro krokový motor v celkové roční sérii $100\,000 \text{ ks} \cdot \text{rok}^{-1}$. Vykonané výpočty jsou pouze teoretického charakteru, jelikož bylo potřeba některé uvedené hodnoty odhadnout a výpočty pro potřeby práce zjednodušit. Kompletní přehled vstupních údajů je viditelný v tabulce č. 9.

Tab. 9 Znamé vstupní parametry [28; 53; 54].

Název	Zkratka	Hodnota	Jednotka
Velikost výrobní série	N	100 000	[ks]
Násobnost formy	n_F	4	[-]
Dávka taveniny	V_D	69,0	[cm ³]
Hustota vstříkovaného materiálu	ρ	1,36	[g · cm ³]
Doba vstříkovacího cyklu	t_c	42,6	[s]
Cena materiálu (odhad)	C_M	5,1	[€ · kg ⁻¹]
Cena stroje (použitý kus)	C_S	500 000	[Kč]
Odhadovaná cena provozu stroje (seřizovač, energie,...)	C_P	1350	[Kč · h ⁻¹]
Cena vstříkovací formy (odhad)	C_F	80 000	[€]
Hodinová hrubá mzda operátora (odhad)	N_{HM}	325	[Kč · h ⁻¹]
Měnový kurz dle ČNB (22.5.2023)	–	23,675	[Kč · € ⁻¹]

Výpočet nákladů za materiál a provoz stroje nutný ke zhotovení zadané série:

- Počet vstříkovacích cyklů:

$$\begin{aligned} n &= \frac{N}{n_F} \\ &= \frac{100\,000}{4} = 25\,000 \end{aligned} \quad (4.1)$$

- Hmotnost čtyř výstříků včetně vtokových zbytků:

$$\begin{aligned} G_C &= \rho \cdot V_D \\ &= 1,36 \cdot 69,0 = 93,8 \text{ g} \end{aligned} \quad (4.2)$$

- Celková spotřeba materiálu:

$$\begin{aligned} m_{\text{mat}} &= G \cdot n \\ &= 93,8 \cdot 25\,000 = 2\,345\,000 \text{ g} = 2345 \text{ kg} \end{aligned} \quad (4.3)$$

- Náklady na spotřebovaný materiál:

$$\begin{aligned} N_{\text{mat}} &= m_{\text{mat}} \cdot C_M \\ &= 2345 \cdot 5,1 = 11\,959,5 \text{ €} = 283\,141 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (4.4)$$

- Čistý strojní čas:

$$\begin{aligned} t_s &= \frac{N \cdot t_c}{n \cdot 3600} \\ &= \frac{100\,000 \cdot 42,6}{4 \cdot 3600} = 295,8 \text{ hod} \end{aligned} \quad (4.5)$$

- Čas výroby celé série:

$$\begin{aligned} t_{cs} &= \frac{t_s}{k} \\ &= \frac{295,8}{0,8} = 369,8 \text{ hod} \end{aligned} \quad (4.6)$$

Pro koeficient výrobního času k zvolena z intervalu střední hodnota 0,8.

- Výpočet podílu z ročního odpisu vstříkovacího stroje:

$$\begin{aligned} N_{RO} &= \frac{C_s}{t_o \cdot 365 \cdot 24} \cdot t_{cs} & (4.7) \\ &= \frac{500\,000}{5 \cdot 365 \cdot 24} \cdot 369,8 = 4222 \text{ Kč} \end{aligned}$$

- Celkové náklady na provoz stroje:

$$\begin{aligned} N_{ps} &= t_{cs} \cdot N_s + N_{RO} & (4.8) \\ &= 369,8 \cdot 1350 + 4222 = 503\,452 \text{ Kč} \end{aligned}$$

- Náklady na mzdu operátora:

$$\begin{aligned} N_{mzda} &= t_{cs} \cdot N_{HM} & (4.9) \\ &= 369,8 \cdot 325 = 120\,185 \text{ Kč} \end{aligned}$$

Hodnota celkových nákladů spojených s pořízením vstříkovací formy je pro práci zvolena jako hrubý odhad založený na náročnosti a složitosti zhotovení formy dle technické praxe. Zahrnuje náklady na koupi normalizovaných dílů a jejich potřebnou úpravu, konstrukci včetně zkoušek a kompletní servis. Formu je možné vyhotovit u různých dodavatelů po celém světě, z důvodu kvality a přesnosti je volena evropská varianta, viz tabulka č.10. Je třeba počítat s tím, že forma disponuje pouze omezenou životností, proto bude ve výpočtech počítáno s amortizací formy.

Tab. 10 Odhadované náklady na výroby vstříkovací formy [28].

	Čína	EU
Cena normalizovaných dílů (přibližně 10 % nákladů)	2 500 € (59 187,5 Kč)	8 000 € (189 400 Kč)
Konstrukce a výroba formy (zbytek nákladů)	25 000 € (591 875 Kč)	80 000 € (1 894 000 Kč)

- Výpočet nákladů na amortizaci formy:

$$\begin{aligned} N_F &= \frac{C_F \cdot N}{N_z \cdot n_F} & (4.10) \\ &= \frac{1\,894\,000 \cdot 100\,000}{375\,000 \cdot 4} = 126\,267 \text{ Kč} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{kde: } N_z &= n \cdot t_{UNT}, & (4.11) \\ &= 25\,000 \cdot 15 = 375\,000 \end{aligned}$$

kde: t_{UNT} – uvedená doba na trhu [-], zvoleno 15 let.

- Celkové náklady pro zhotovení roční série 100 000 ks

$$\begin{aligned} N_C &= N_{mat} + N_{ps} + N_F + N_{mzda} & (4.12) \\ &= 283\,141 + 503\,452 + 126\,267 + 120\,185 = 1\,033\,045 \text{ Kč} \end{aligned}$$

- Náklady na díl

$$\begin{aligned} N_D &= \frac{N_C}{N} & (4.13) \\ &= \frac{1\,033\,045}{100\,000} = 10,3 \text{ Kč} \end{aligned}$$

Pomocí výpočtů bylo dospěno k závěru, že náklady na zhotovení jedné součásti v celkové sérii 100 000 ks · rok⁻¹ se pohybují na hodnotě 10,3 Kč. Částku je potřeba brát s rezervou, jelikož z důvodu zjednodušení výpočtů nejsou brány v úvahu například režie podniku. Při porovnání nákladů na vyrobení jednoho kusu těla pro krokový motor z mosazi (původní stav), které činí 7,15 € (169,3 Kč), a plastu (nový stav) za 10,3 Kč, jde vidět obrovský cenový rozdíl, který činí 159 Kč. Změna materiálu a výrobní technologie má proto v technické praxi smysl.

ZÁVĚR

Cílem práce byla změna stávajícího materiálu těla pro krokový motor za novou plastovou variantu a následné zvolení adekvátní výrobní technologie. Jako vhodný materiál byl zvolen polyamid PA66GF vyztužený z 30 % skleněným vláknem pod obchodním značkou Ultramid® A3EG6, který splňuje všechny potřebné požadavky na provoz součásti. Pro zhotovení dílu v celkové sérii $100\,000 \text{ ks} \cdot \text{rok}^{-1}$ bylo na základě rozboru zvoleno vstřikování plastů za novou technologii výroby.

Po rozebrání teoretické části následovalo posouzení technologičnosti součásti, sloužící pro ověření vyrobitelnosti dle zvolené technologie. Po úpravě tloušťky stěn, doplnění úkosů, žebrování a technologických rádiusů proběhly simulační analýzy, jež potvrdily vyrobitelnost. Před konstrukcí vstřikovací formy bylo potřeba nejprve rozhodnout o její celkové násobnosti. Protože se zvolená součást bude vyrábět a uvádět na trh po dobu dalších 15-20 let bylo rozhodnuto, že forma bude koncipována jako čtyřnásobná i přes, že praktická násobnost vyšla výpočtem pouze jako jednonásobná. Jelikož tělo pro krokový motor není jednoduchého tvaru, musely být zvoleny dvě dělicí roviny, jedná kolmá a druhá rovnoběžná na směr otevření formy. Pro dopravu taveniny do tvarové dutiny byla zvolena horká vtoková soustava se studeným podrozvodem, každá součást je plněna skrze jeden bodový vtok v horní části kavity. Z důvodu zmíněné složitosti dílu je třeba zaformování řešit pomocí bočních šíbrů a jader umístěných proti sobě. Po zkonstruování formy bylo nutné vybrat potřebný vstřikovací stroj, nejvhodnějším adeptem se jeví hydraulický Allrounder 420 C GOLDEN EDITION od firmy ARBURG disponující uzavírací silou o hodnotě 1000 kN.

Výstupem práce bylo technicko-ekonomické zhodnocení, kde se stanovily náklady na spotřebovaný materiál, provoz stroje a celkové náklady pro zhotovení celé roční série včetně mzdových nákladů na operátora. Přibližná hodnota nákladů na zhotovení jednoho dílu následně vychází 10,3 Kč. V porovnání s kovaným mosazným tělem pro krokový motor se jedná o výrobní úsporu o hodnotě 159 Kč na jeden díl. Změna materiálu a výrobní technologie má rozhodně smysl.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
 2. KOLOUCH, Jan. *Strojní součásti z plastů*. Praha: SNTL, 1981, 260 s. ISBN NULL.
 3. OHNIŠŤOVÁ, Petra. *Plasty ve strojírenství (FPA)* [přednášky a cvičení]. Brno: VUT FSI v Brně, 2023 [cit. 2023-04-22].
 4. SOVA, Miloš a Josef KREBS. *Termoplasty v praxi*. Praha: Dashöfer, 1999. ISBN 80-862-2915-7.
 5. 10 Types of Injection Molding Materials. *RapidDirect* [online]. 14.11.2022 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.rapiddirect.com/blog/injection-molding-materials/>
 6. Mosaz CW-lisované | tažené tyče CuZn40Pb2 | CW617N | ČSN 42 3223 | DIN 2.0402. *AlCuSteel s.r.o.* [online]. [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.alcusteel.cz/cw617n/>
 7. CuZn40Pb2 (CW617N). *European Steel and Alloy Grades / Numbers Searchable Database* [online]. [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: http://www.steelnumber.com/en/steel_alloy_composition_eu.php?name_id=1355
 8. PA66+GF30 - polyamid modifikovaný skelnými vlákny. *TechPlasty* [online]. [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.techplasty.cz/material/polyamid/pa66gf30-polyamid-modifikovany-skelnymi-vlakny>
 9. Jak funguje 3D tiskárna: Základní technologie 3D tisku. *TonerPartner* [online]. 05.09.2022 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.tonerpartner.cz/clanky/jak-funguje-stolni-3d-tiskarna-zakladni-technologie-3d-tisku-24967cz39332/>
 10. What is FDM 3D Printing?. *HLH Rapid* [online]. [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://hlhrapid.com/knowledge/what-is-fdm-3d-printing/>
 11. CARNEIRO, Olga a AF SILVA a GOMES, Rui. *Fused deposition modeling with polypropylene*. In: *Materials & Design* [online]. 2015, s. 768-776 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264127515004037>
 12. *Obrábění* [online]. Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <http://physics.ujep.cz/~mkormund/P232/Obr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%AD.pdf>
 13. OHÝBÁNÍ A OPRACOVÁNÍ PLASTŮ. *FTP Plastics s.r.o.* [online]. [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <https://www.vyrobazplastu.cz/ohybani-plastu/>
 14. Milling (machining). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Milling_%28machining%29#/media/File:Fraisage_surfacage.sv
 15. AUSPERGER, Aleš. *Technologie zpracování plastů* [online]. Střední odborné učiliště Svitavy, 2016 [cit. 2023-04-14]. ISBN 978-80-88058-77-9. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/Cover.html>
 16. Plastic Casting Process: The Ultimate FAQ Guide. *WeProFab* [online]. 07.11.2019 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: <https://www.weprofab.com/plastic-casting-process/>
 17. BĚLAŠKA, Karel. *VÝROBA UZÁVĚŘŮ LAHVÍ* [online]. Brno, 2018 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=174553. Diplomová práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Ladislav Žák.
-

-
18. Vstřikování plastů pomocí robotického vstřikovacího stroje. *KUKA AG* [online]. [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/pr%C5%AFmyslov%C3%A1-odv%C4%9Btv%C3%AD/solutions-database/2022/07/hauff-vst%C5%99ikov%C3%A1n%C3%AD-plast%C5%AF-my%C4%8Dkan%C3%A1dob%C3%AD>
 19. BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. Střední odborné učiliště Svitavy, 2016 [cit. 2023-04-14]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Cover.html>
 20. ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. 2018. Praha: Grada Publishing, 2018, 464 s. ISBN 978-80-271-0614-1.
 21. LENFELD, Petr. *Technologie II* [online]. 3. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2016 [cit. 2023-04-14]. ISBN 978-80-7494-305-8. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/index.htm
 22. LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování* [online]. Střední odborné učiliště Svitavy, 2016 [cit. 2023-04-14]. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Cover.html>
 23. SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. Střední odborné učiliště Svitavy, 2016 [cit. 2023-04-14]. ISBN 978-80-88058-71-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/Cover.html>
 24. SOVA, Miloš. Makroskopická struktura polymerních směsí a kompozitů. *Techportál.cz* [online]. 06.01.2015 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.techportal.cz/33/makroskopicka-struktura-polymernich-smesi-a-kompozitu-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EqQUkSFod1Gxr5jOb5jQWVs/>
 25. HELÁNOVÁ, Veronika. Odborník na barviva do plastů. *Magazín Průmysl* [online]. 23. 4. 2020 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://prumysl.inform.cz/vyroba/odbornik-na-barviva-do-plastu/>
 26. ŽÁK, Ladislav. *Vstřikovací formy* [online]. Brno: VUT FSI [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/cviceni/htn__tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy__zak.pdf
 27. SOVA, Miloš. Smrštění a dodatečné smrštění při vstřikování plastů. *Techportál.cz* [online]. 06.06.2015 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.techportal.cz/33/smrsteni-a-dodatecne-smrsteni-pri-vstrikovani-plastu-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EqQUkSFod1GxXa2VafSdbW0/>
 28. BŘÍNEK, Martin, *zadavatel témata k bakalářské práci* [ústní sdělení]. Brno, 14.04.2023.
 29. KOHOUTEK, Jan. *Konstrucní provedení vstřikovacích lisů* [online]. 04. 02. 2009 [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/konstrucni-provedeni-vstrikovacich-lisu>
 30. BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. Střední odborné učiliště Svitavy, 2016 [cit. 2023-04-14]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Cover.html>
 31. NEUHÄUSL, Emil. *Historie a rozvoj vstřikování plastů v ČR*. MM Spektrum. Praha: Vogel Publishing, 2010, 2010(1), 17. ISSN 1212-2572.
 32. What is compression ratio and why it is important?. *Essentra Components* [online]. 29.11.2021 [cit. 2023-04-24]. Dostupné z: <https://www.essentracomponents.com/en-gb/news/manufacturing/injection-moulding/what-are-compression-ratios-and-why-are-they-important>
-

-
33. 3 Basic Steps Of The Injection Molding Process: Processes for Injection Molding. *Injection Moulding World* [online]. 22. 04. 2018 [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <https://injectionmouldingworld.com/3-basic-steps-of-the-injection-molding-process/>
 34. Vstříkovací lis na plasty. *Vstříkovací systémy pro plast s.r.o.* [online]. [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <https://www.lis-na-plasty.cz/>
 35. Injection Mould Tooling. *Plastics Technology* [online]. [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <https://www.plastics-technology.com/products/regina-industries/injection-mould-tooling>
 36. ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce vylisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-833-5.
 37. Runner. *Beaumont Technologies, Inc.* [online]. [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.beaumontinc.com/injection-molding-glossary/runner/>
 38. *Training inspires Caplugs to 'break' the mold* [online]. Beaumont Technologies [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.beaumontinc.com/files/case-studies/3caplugs.pdf>
 39. STACK MOLDING HOT RUNNER. *HOT TECHS HOT RUNNER TECHNOLOGIES* [online]. [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.hottechshotrunner.com/product/5/Stack-Molding-Hot-runner>
 40. Temperace vstříkovacích forem - důležitá podmínka výroby výtříků z termoplastů, 3. část. *PlasticPortal.eu®* [online]. [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.plasticportal.cz/cs/temperace-vstrikovacich-forem-dulezita-podminka-vyroby-vystriku-z-termoplastu-3-cast/c/3087/>
 41. The Importance of Cooling Lines in Injection Molding. *Fictiv* [online]. [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.fictiv.com/articles/the-importance-of-cooling-lines-in-injection-molding>
 42. Chlazení forem aplikací konformního chlazení. *PlasticPortal.eu®* [online]. 12.07.2010 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.plasticportal.cz/cs/chlazení-forem-aplikaci-konformního-chlazení/c/260/>
 43. HOW TO FIX EJECTOR PIN MARKS IN INJECTION MOLDING. *CavityMold* [online]. 26.01.2021 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.cavitymold.com/how-to-fix-ejector-pin-marks-in-injection-molding/>
 44. Part 1: Back to Basics on Mold Venting. *Plastics Technology* [online]. [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.ptonline.com/articles/part-1-back-to-basics-on-mold-venting>
 45. MENGES, Georg, Walter MICHAELI a Paul MOHREN. *How to make injection molds. 3rd ed.* Munich: Hanser Publishers, 2001. ISBN 34-462-1256-6.
 46. Všeobecné vlastnosti materiálu polyamid (PA). *Heyman* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.heyman.cz/vlastnosti-polyamidu>
 47. POLYAMIDY. *FTP Plastics s.r.o.* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.prumysloveplasty.cz/polyamidy/>
 48. PA66+GF30 - polyamid modifikovaný skelnými vlákny. *TechPlasty* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.techplasty.cz/material/polyamid/pa66gf30-polyamid-modifikovany-skelnymi-vlakny>
 49. TECAMID 66 GF30 black. *Ensinger* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.ensingerplastics.com/cs-cz/polotovary/plast/pa66-tecamid-66-gf30-black>
 50. Ultramid® A3EG6. *CAMPUS®* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.campusplastics.com/campus/en/datasheet/Ultramid%C2%AE+A3EG6/BASF/20/b2ada2dd>
-

51. Photo credit: ARBURG GmbH + Co KG, Arthur-Hehl-Straße, 72290 Loßburg, Deutschland. *Lausberg Kunststofftechnik GmbH & Co. KG* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.lausberg-kunststofftechnik.de/en/photo-credit/>
 52. GOLDEN EDITION: Allrounder 420 C GOLDEN EDITION. *ARBURG* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.arburg.com/cs/cz/svet-vyrobku/vstrikovaci-lisy/hydraulicke-stroje/allrounder-golden-edition/>
 53. Kurzy devizového trhu. *Česká národní banka* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.cnb.cz/cs/financni-trhy/devizovy-trh/kurzy-devizoveho-trhu/kurzy-devizoveho-trhu/>
 54. Wtryskarka Arburg 420 C. *Allegro* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://archiwum.allegro.pl/oferta/wtryskarka-arburg-allrounder-420-c-1300-350-i9881897343.html>
 55. VAŠÍČEK, Lukáš. *VÝROBA TĚLESA AC/DC ADAPTÉRU* [online]. Brno, 2021, 55 s. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/132942>. Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Ladislav Žák.
-

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
A_1	tažnost CW617N	[%]
A_2	tažnost PA66GF30 v suchém stavu	[%]
C_F	cena vstřikovací formy	[€]
C_M	cena materiálu	[€ · kg ⁻¹]
C_p	minimální plastifikační kapacita vstřikovacího stroje	[? ? ?]
C_P	cena provozu stroje	[Kč · h ⁻¹]
C_v	minimální vstřikovací kapacita stroje	[cm ³]
D	největší průměr těla	[mm]
D'	předběžný průměr rozvodného kanálu	[mm]
D_k	průměr rozváděcího kanálu	[mm]
F_u	uzavírací síla	[kN]
G	hmotnost výstřiku	[g]
G_C	hmotnost čtyř výstřiků včetně vtokových zbytků	[g]
k	koeficient využití výrobního času	[-]
K_1	koeficient tekutosti materiálu	[-]
K_2	koeficient délky rozváděcího kanálu	[-]
K_a	faktor navýšení objemu taveniny	[g · cm ⁻³]
K_f	míra amortizace	[%]
K_p	provozní náklady formy	[Kč]
KV	vrubová houževnatost	[kJ · m ²]
L	celková délka těla	[mm]
L_k	délka rozvodného kanálu	[mm]
m_{mat}	celková spotřeba materiálu	[kg]
M	dotahovací moment	[Nm]
n	počet vstřikovacích cyklů	[-]
n_1	násobnost podle vstřikovací kapacity stroje	[-]
n_2	násobnost podle plastifikačního výkonu stroje	[-]
n_3	násobnost podle uzavírací síly stroje	[-]
n_4	násobnost podle požadovaného termínu dodání produkce	[-]
n_5	násobnost podle ekonomického hlediska	[-]
n_F	násobnost formy	[-]
n_p	praktická násobnost	[-]
N	velikost výrobní série	[-]
N_{mat}	náklady na spotřebovaný materiál	[Kč]
N_{mzda}	náklady na mzdu operátora	[Kč]
N_{ps}	celkové náklady na provoz stroje	[Kč]
$N_{\dot{z}}$	předpokládaná životnost formy (v počtech cyklů)	[-]
N_C	celkové náklady pro zhotovení roční série	[Kč]
N_D	náklady na díl	[Kč]
N_F	výpočet nákladů na amortizaci formy	[Kč]
N_{HM}	hodinová hrubá mzda operátora	[Kč · h ⁻¹]
N_{RO}	výpočet podílu z ročního odpisu vstřikovacího stroje	[Kč]
p_i	tlak v dutině formy	[MPa]
p_A	tvářecí tlak	[bar]
p_v	doporučený vstřikovací tlak	[bar]

Symbols

Označení	Legenda	Jednotka
Q_p	plastifikační výkon stroje	[kg · hod ⁻¹]
Q_v	vstřikovací kapacita stroje	[cm ³]
R	technologický rádius	[mm]
R_{m1}	mez pevnosti CW617N	[MPa]
R_{m2}	mez pevnosti PA66GF30 v suchém stavu	[MPa]
$R_{p0,2}$	smluvní mez kluzu	[MPa]
s_1	tloušťka stěny mosazného dílce	[mm]
s_2	tloušťka stěny plastového dílce	[mm]
s_v	smrštění ve směru tečení	[%]
S	plocha průřezu tvarové dutiny do dělicí roviny	[cm ²]
t_c	doba vstřikovacího cyklu	[s]
t_{ch}	doba chlazení	[s]
t_{cs}	čas výroby celé série	[hod]
t_{ost}	doba trvání ostatních úkonů	[s]
t_p	doba produkce	[hod]
t_s	čistý strojní čas	[hod]
t_v	doba plnění	[s]
t_{UNT}	uvedená doba na trhu	[-]
T_t	teplota tání	[°C]
T_o	teplota odformování	[°C]
T_F	teplota formy	[°C]
T_M	teplota taveniny	[°C]
v_s	rychlost vstřikování	[mm · s ⁻¹]
V	objem vstřikované součásti	[cm ³]
V_k	objem rozváděcího kanálku	[cm ³]
V_{vtok}	celkový objem vtoku	[cm ³]
V_D	dávka taveniny	[cm ³]
ρ	hustota vstřikovaného materiálu	[g · cm ⁻³]

Zkratky

Označení	Legenda
VS	výrobní smrštění
TDS	technical data sheet

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 TDS zvoleného materiálu
- Příloha 2 Praktická násobnost formy
- Příloha 3 Tabulka pro stanovení vstřikovacích tlaků
- Příloha 4 Technické specifikace vstřikovacího stroje
- Příloha 5 Provedené mechanické simulace

SEZNAM VÝKRESŮ

- TPKM – MOSAZ 2023-BP-229482-01
 - TPKM – POLYAMID 2023-BP-229482-02
 - VSTŘIKOVACÍ FORMA 2023-BP-229482-03
 - KUSOVNÍK 2023-BP-229482-04
-

CAMPUS® Datasheet

Ultramid® A3EG6 - PA66-GF30
BASF



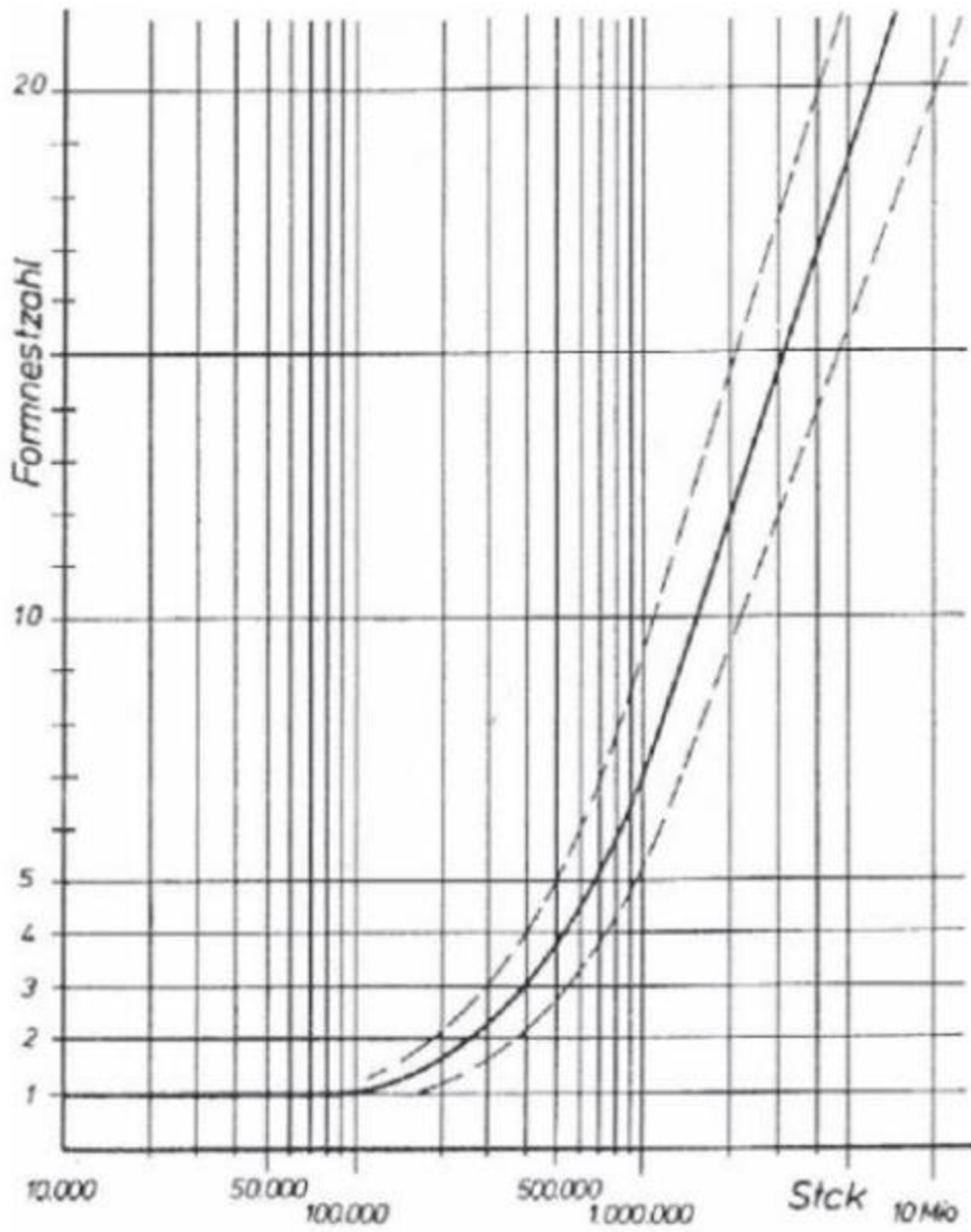
Product Texts

Glass fibre reinforced injection moulding grade for machinery components and housings of high stiffness and dimensional stability such as lamp socket housings, cooling fans, insulating profile for aluminium window frames, water containers for automotive cooling systems, as well as electrically insulating parts.

Rheological properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Melt volume-flow rate, MVR	30 / *	cm ³ /10min	ISO 1133
Temperature	275 / *	°C	ISO 1133
Load	5 / *	kg	ISO 1133
Molding shrinkage, parallel	0.5 / *	%	ISO 294-4, 2577
Molding shrinkage, normal	1.0 / *	%	ISO 294-4, 2577
Mechanical properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Tensile modulus	10000 / 7200	MPa	ISO 527-1/-2
Stress at break	190 / 130	MPa	ISO 527-1/-2
Strain at break	3 / 5	%	ISO 527-1/-2
Tensile creep modulus, 1000h	* / 5300	MPa	ISO 899-1
Charpy impact strength, +23°C	85 / 100	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy impact strength, -30°C	70 / 70	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy notched impact strength, +23°C	11 / 20	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Charpy notched impact strength, -30°C	10 / 9.5	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Thermal properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Melting temperature, 10°C/min	260 / *	°C	ISO 11357-1/-3
Temp. of deflection under load, 1.80 MPa	250 / *	°C	ISO 75-1/-2
Temp. of deflection under load, 0.45 MPa	260 / *	°C	ISO 75-1/-2
Vicat softening temperature, 50°C/h 50N	250 / *	°C	ISO 306
Coeff. of linear therm. expansion, parallel	28 / *	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Coeff. of linear therm. expansion, normal	88 / *	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Burning behavior at 1.5 mm nominal thickness	HB / *	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested (1.5)	1.6 / *	mm	IEC 60695-11-10
Yellow Card available	Yes / *	-	-
Burning behavior at thickness h	HB / *	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested (h)	0.8 / *	mm	IEC 60695-11-10
Yellow Card available	Yes / *	-	-
Oxygen index	24 / *	%	ISO 4589-1/-2
Electrical properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Relative permittivity, 100Hz	4.2 / 9.7	-	IEC 62631-2-1
Relative permittivity, 1MHz	3.7 / 4.3	-	IEC 62631-2-1
Dissipation factor, 100Hz	120 / 1530	E-4	IEC 62631-2-1
Dissipation factor, 1MHz	210 / 810	E-4	IEC 62631-2-1
Volume resistivity	1E13 / 1E10	Ohm*m	IEC 62631-3-1
Surface resistivity	* / 1E10	Ohm	IEC 62631-3-2
Electric strength	40 / 37	kV/mm	IEC 60243-1
Comparative tracking index	- / 550	-	IEC 60112
Other properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Water absorption	5.5 / *	%	Sim. to ISO 62

Ultramid® A3EG6 - PA66-GF30
BASF

Humidity absorption	1.7 / *	%	Sim. to ISO 62
Density	1360 / -	kg/m ³	ISO 1183
Material specific properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Viscosity number	145 / *	cm ³ /g	ISO 307, 1157, 1628
Rheological calculation properties	Value	Unit	Test Standard
Ejection temperature	195	°C	-
Test specimen production	Value	Unit	Test Standard
Injection molding, melt temperature	290	°C	ISO 294
Injection molding, mold temperature	80	°C	ISO 294
Injection molding, injection velocity	200	mm/s	ISO 294



Tabulka pro stanovení vstřikovacích tlaků [55]

		Vstřikovací tlak [bar]	Dotlak [bar]	Předpokládaný tlak ve tvarové dutině vstřikovací formy [bar]	Protitlak [bar]
Amorfni termoplasty	PS	650-1150	300-700	150-350	40-80
	SAN	650-1150	350-900	250-450	40-80
	ABS	650-1150	400-900	300-550	40-80
	PMMA	1000-1400	500-1150	350-550	80-120
	PC	1000-1600	600-1300	350-650	80-120
	PES	900-1400	500-1100	400-600	80-120
	PA amorfni	900-1300	450-800	350-450	40-80
Semikrytá lilké termoplasty	PE nízkohustotní	600-1350	300-800	200-600	40-80
	PE vysokohustotní	600-1350	300-800	200-600	60-90
	PP	800-1400	500-1100	300-650	60-90
	PA 6	450-1550	400-750	350-550	40-80
	PA 6.6	650-1550	550-1050	450-750	40-80
	POM	800-2000	700-1500	550-1050	40-80
	PET	800-1500	550-1050	450-750	60-90
	PBT	800-1550	500-1000	400-700	40-80
	PEEK	800-1500	450-800	400-700	60-90
Reakto plasty	PF	800-1500	350-900	200-550	20-80
	EP	800-2500	350-1000	200-600	10-60
Elastom ery	Tekuté silikony	300-800	120-350	80-250	10-60

TECHNICAL DATA | 420 C GOLDEN EDITION

Clamping unit		420 C GOLDEN EDITION	
with clamping force	max. kN	1000	
Opening force stroke	max. kN mm	250 500	
Mould height, fixed variable	min. mm	250 ---	
Platen daylight fixed variable	max. mm	750 ---	
Distance between tie bars (w x h)	mm	420 x 420	
Mould mounting platens (w x h)	max. mm	570 x 570	
Weight of movable mould half	max. kg	600	
Ejector force stroke	max. kN mm	40 175	
Dry cycle time EUROMAP 2	min. s - mm	1,8 - 294	

Injection unit		290		
with screw diameter	mm	30	35	40
Effective screw length	L/D	23,3	20	17,5
Screw stroke	max. mm	150		
Calculated stroke volume	max. cm ³	106	144	188
Shot weight	max. g PS	97	132	172
Material throughput	max. kg/h PS	17	20,5	24,5
	max. kg/h PA6.6	8,5	10,5	12,5
Injection pressure	max. bar	2500	2000	1530
Holding pressure	max. bar	2500	2000	1530
Injection flow 2	max. cm ³ /s	102	140	182
Screw circumferential speed 2	max. m/min	46	54	62
Screw torque	max. Nm	320	380	430
Nozzle contact force retraction stroke	max. kN mm	60 240		
Heating capacity zones	kW	6,4 5		
Feed hopper	l	50		

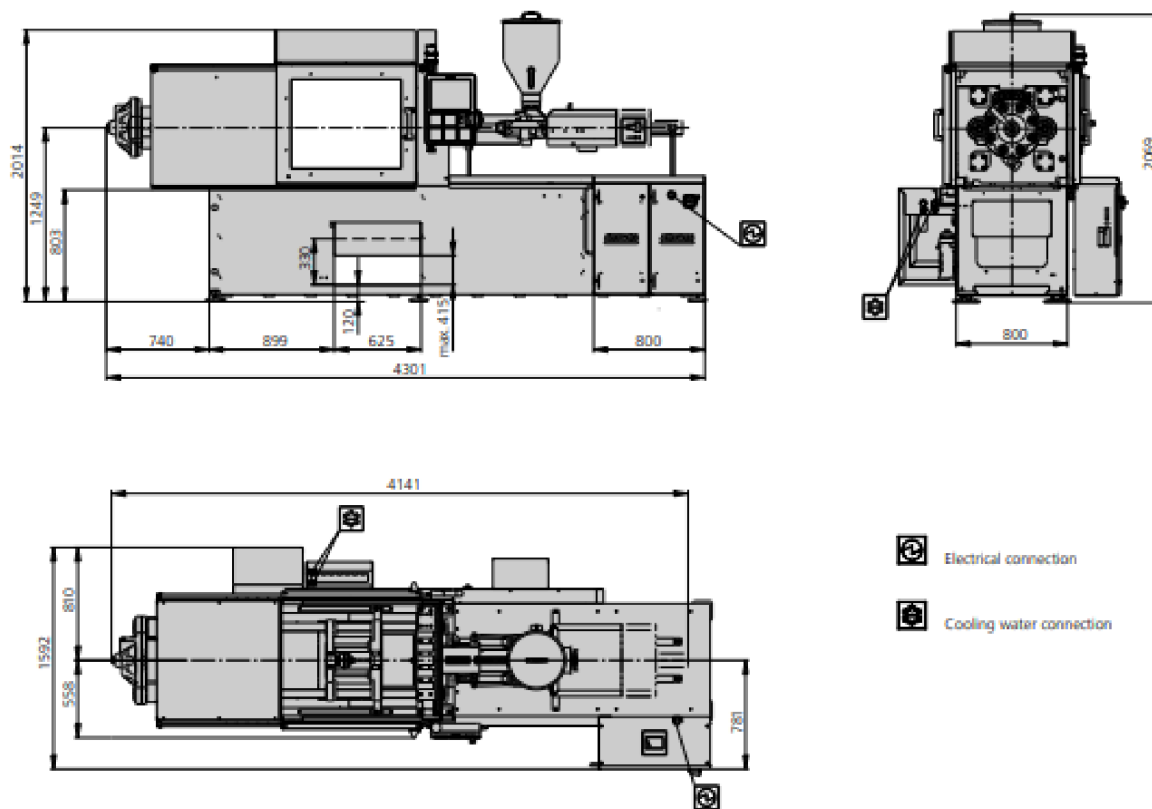
Drive and connection		2 pumps	
with injection unit		290	
Net weight of machine	kg	3650	
Sound press. level insecurity 4	dB(A)	68 3	
Oil filling	l	235	
Drive power 2	max. kW	15	
Electrical connection 3	kW	24	
	Total	A	
	Machine	A	
Heating	A	---	
Cooling water connection	max. °C	30	
	min. Δp bar	1,5 DN 25	

Machine type
with EUROMAP size designation 1
420 C GOLDEN EDITION | 1000-290

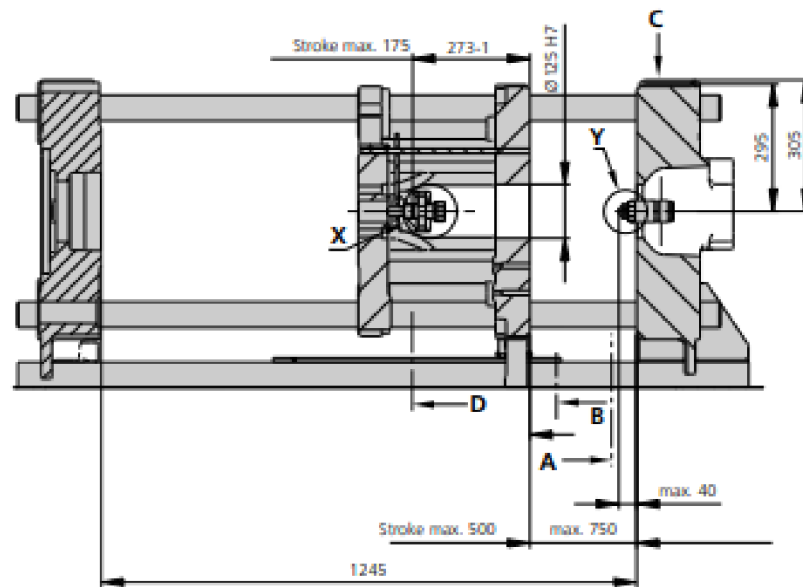
All specifications relate to the basic machine version. Deviations are possible depending on variants, process settings and material type. Depending on the drive, certain combinations, e.g. max. injection pressure and max. injection flow may be mutually exclusive.

- 1) Clamping force (kN) - size of injection unit = max. stroke volume (cm³) x max. injection pressure (kbar)
 - 2) Specifications depend on the drive variant / drive configuration.
 - 3) Specifications relate to 420 W50 Hz.
 - 4) Detailed info in the operating instr.
- [] Specifications apply to alternative equipment.

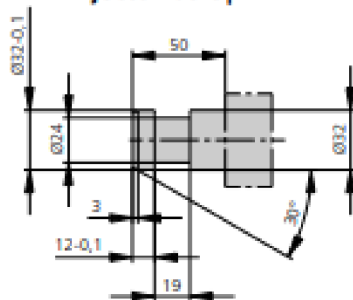
MACHINE DIMENSIONS | 420 C GOLDEN EDITION



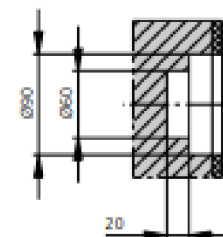
MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 420 C GOLDEN EDITION



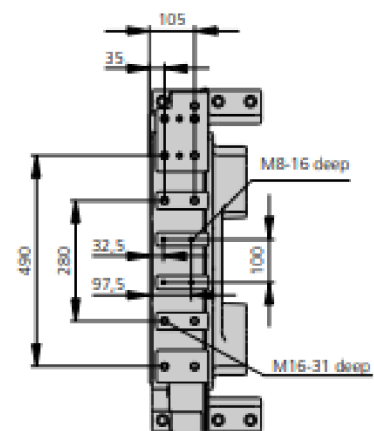
Ejector bolt | X



Bore in mould (if required) | Y



Robotic system mounting | C



D view

